

AE2

10/788,888



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 43 04 499 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 02 B 26/10**  
B 41 J 2/47  
// B41J 2/455, H04N  
1/024

⑲ Aktenzeichen: P 43 04 499.9  
⑳ Anmeldetag: 15. 2. 93  
㉑ Offenlegungstag: 2. 9. 93

DE 43 04 499 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
13.02.92 US 835160 30.03.92 US 860532

⑦① Anmelder:  
Holotek Ltd., Rochester, N.Y., US

⑦④ Vertreter:  
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:  
Kramer, Charles J., Rochester, N.Y., US; Araghi,  
Mehdi N., Webster, N.Y., US

⑤④ Optische Strahlabtaster und Systeme zur Verwendung dieser Abtaster

⑤⑦ Ein Abtaster der Bauart mit dualreflektierender un- oder nichtpolarisierender Monpffacette oder ein Strahldeflektor besitzt eine Hypothenusenstirnfläche und bildet einen Körper, der rechteckig oder zylindrisch sein kann und der in einem Gehäuse enthalten sein kann, der aerodynamische Stabilität vorsieht, wenn der Abtaster mit hoher Drehzahl sich dreht. Die Hypothenusenstirnfläche weist eine partiell reflektierende Oberfläche auf, auf der ein einfallender Strahl kollinear mit der Drehachse auftrifft. Dieser Strahl wird durchgelassen und reflektiert, um Dualstrahlen vorzusehen, von denen der eine durch Lichtabsorptionsmaterial, vorzugsweise ein Überzug, absorbiert wird, und zwar auf einer Oberfläche des Körpers, während der durchgelassene Strahl durch einen Spiegel auf einer weiteren Oberfläche des Körpers retroreflektiert wird, und zwar zurück zu der partiell reflektierenden Oberfläche. Ein Ausgangsstrahl wird durch den retroreflektierten Strahl vorgesehen. Der oben erwähnte Deflektor kann Teil eines Systems sein, welches einen Nachführ- oder Verfolgungsstrahl vorsieht, und zwar mit einer Wellenlänge unterschiedlich von der des Abtaststrahls, der von der partiell reflektierenden Oberfläche reflektiert wird und dann als ein dichroischer Strahlteiler arbeitet.

DE 43 04 499 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf optische Strahlabstaster und Deflektoren sowie auf Systeme, die den Strahl mit hoher Genauigkeit leiten und ohne das Querabstast-Positionierfehler auftreten, wodurch eine verbesserte reprographische Vorrichtung (Bildschreiber oder Drucker) geschaffen wird, und zwar insbesondere eine reprographische Vorrichtung der Bauart mit interner Trommel.

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Bildverarbeitungs-Software und -Hardware haben eine Nachfrage, für graphische und künstlerisch-graphische elektronische Bildsysteme entstehen lassen, die in der Lage sind, hochqualitative Bilder mit hohen Datenraten zu lesen oder zu schreiben. Elektronische Bildschreibsysteme sind in erster Linie erforderlich, um wiederholt kollineare gerade Linien mit guter Pixel-zu-Pixel-Gleichförmigkeit und keinen Pixelausfällen zu erzeugen. Die Bildschreibvorrichtung der Wahl für diese Leistungserfordernisse ist ein Laserabstastsystem mit einem fliegenden Punkt ("flying spot"), da der Strahl auf einen feinen Punkt fokussiert werden kann, um die für mit hoher Auflösung erfolgenden Abbildanwendungsfälle erforderliche hohe Pixeldichte zu erreichen, wobei die Intensität von nur einer einzigen Quelle gesteuert werden muß. Die meisten mit fliegendem Punkt arbeitenden Laserabstastsysteme basieren entweder auf einem Galvanometer, einem sich drehenden Pentaprisma, einem sich drehendem Polygonalspiegel, einem sich drehenden holographischen optischen Element (Hologon), oder einem akusto-optischen oder elektro-optischen Deflektor.

Drehspiegelstrahldeflektorsysteme erfüllten anfangs die Erfordernisse für graphische Abbildanwendungsfälle nicht, und zwar wegen Facette-zu-Facette-Nichtgleichförmigkeiten und/oder einer Dreh- oder Spinwobbelbewegung. Das Problem bei Spiegelfacetten besteht darin, daß sie jeden Fehler verdoppeln, sei es das Deflektor wobbeln, die Facetten-Pyramidalausrichtfehler oder die Facettenoberflächen-Nicht-Flachheit. Somit leidet ein einzelfacettierter Drehspiegelstrahldeflektor, der auch als Monogon oder Monofacette bezeichnet werden kann, an einem Quer- oder Kreuzabstaststrahlfehler infolge von Änderungen des festen Spiegel Wobbelwinkels, und zwar hervorgerufen durch Motorlagerungenauigkeiten und/oder -Vibration. US-Patent 44 75 787 vom 9. Oktober 1984 zeigt, daß der Kreuzstrahlfehler infolge dieser Deflektornachteile in einem "Vor-Objektiv" Deflektorsystem (Abtastlinse folgt Deflektor) eliminiert werden kann, wenn das Licht zwei Reflexionen in dem Deflektorelement erfährt. Das genannte US-Patent '787 zeigt, daß dieser Reflexionszustand erreicht wird durch Verwendung eines sich drehenden Pentaprismas, eines Pentaspiegels, eines rechtwinkligen Prismas oder eines rechtwinkligen Spiegelmonogons.

Die vom Pentaprisma herkommenden Strahlen behalten ihre Winkelorientierung unabhängig von der Winkeländerung in dem festen Wobbelwinkel des Pentaprismas, da die Strahlen innerhalb des Pentaprisma-deflektors zwei Reflexionen erfahren. Diese beiden Reflexionen erfolgen an Reflexionsoberflächen, die starr miteinander gekoppelt sind und sie erfahren daher die gleiche winkelmäßige Abweichung, da die gesamte Pentaprismaorientierung geändert wird, so daß parallele aus dem Pentaprisma austretende Strahlen durch eine Linse nach dem Deflektor (Ablenkvorrichtung) zu ei-

nem einzigen Punkt an der Brennebene der Linse fokussiert werden, wo ein Aufzeichnungssystem (Drucker) koinzident mit der Oberfläche gemacht wird, an der das Aufzeichnungsmedium angeordnet ist.

US-PS 48 53 709 zeigt einen Pentaprimadeflektor in einem Abbildsystem mit einer internen Trommel. Der Pentaprimadeflektor wird in der Post-oder Nach-Objektivbetriebsart (die Fokussierlinse befindet sich vor dem Deflektor) verwendet, und die in die Position der austretenden Strahlen vom Pentaprisma eingeführte versetzte Versetzung infolge der Änderung des Wobbelwinkels des Pentaprismas führt eine entsprechende versetzte Versetzung bei der Abtaststrahlposition (Kreuzabstaststrahlfehler) an der Bildaufzeichnungsebene ein.

Ein Nachteil des Verfahrens mit dem zwei Reflexionen aufweisenden Monogon und Pentaprisma besteht darin, daß jede Spiegeloberfläche der Vorrichtung ungefähr zweimal so flach sein muß, wie die bei einem Monogon mit einer einzigen Reflexionsoberfläche, um die gleiche Wellenfrontgenauigkeit zu erreichen. Wenn eine durchschnittliche Wellenfrontgenauigkeit von  $\lambda/4$  benötigt wird, so muß jede Spiegeloberfläche auf eine Oberflächengenauigkeit von annähernd  $\lambda/16$  gebracht werden, was teuer ist. Andere Hauptnachteile des Pentaprimadeflektors sind die folgenden: die rotationsmäßig nicht symmetrische optische Geometrie und Masengeometrie bilden Probleme in einer Rotationsumgebung, und eine ziemlich große Deflektormasse kann in signifikanter Weise dazu beitragen, dynamische Änderungen beim Deflektorwobbelwinkel hervorzurufen. Die dynamische Änderung des Deflektorwobbelns ist noch immer bedenklich bei dem Pentaprimadeflektor, weil sein "In-Abtastungsstrahlfehler" (jitter = Zittern) direkt proportional ist zur Änderung der In-Abtastungskomponente des Deflektorwobbelns, ob wohl sein Querabstaststrahlfehler im wesentlichen unempfindlich gegenüber dieser Änderung ist.

Die rotationsmäßig nicht symmetrische Geometrie des Pentaprimadeflektors macht es im wesentlichen unmöglich, das dynamische Gleichgewicht in allen Ebenen des Deflektors zu erhalten. Diese Unfähigkeit jede Deflektorebene ins Gleichgewicht zu bringen, macht es sehr schwer, den Deflektor mit hohen Rotationsraten zu betreiben, da die Deflektoranordnung sehr zu Vibrationsproblemen neigt, und zwar als eine Funktion der Änderung der Deflektordrehrate. Beispielsweise kann einer Pentaprimadeflektoranordnung Masse (eine Befestigungsnahe) zur Anordnung hinzuaddiert werden, um die Anordnung rotationsmäßig massensymmetrisch zu machen, und wobei eine Verbesserung bezüglich der Massensymmetrie auftritt, und zwar bei Vergleich mit dem Pentaprisma allein, so bleibt doch eine Restmassenasymmetrie und daher kann kein vollständiges dynamisches Gleichgewicht für jede Deflektoranordnungsebene erreicht werden. Darüber hinaus ist mehr Masse vorhanden als der anfängliche Pentaprimadeflektor, was beträchtlich zur Größe, Komplexität und den Kosten des Deflektormotors beiträgt und so die Drehgeschwindigkeit des Deflektors begrenzt.

Ein weiteres Problem bei den Spiegelflektoren, die bei hoher Drehzahl oder hohen Drehraten verwendet werden, ist die Deflektorelementflächenverformung, die durch die Zentrifugalkraft hervorgerufen wird. Dies gilt insbesondere für das Pentaprimadeflektorelement infolge des Vorhandenseins der zwei Reflexionsoberflächen und die assymetrische Anordnung dieser reflektierenden oder Reflexionsoberflächen bezüglich der De-

flektordrehachse. Die zweite Reflexionsoberfläche des Pentaprismas ist besonders empfindlich gegenüber der durch die Zentrifugalkraft induzierten Flachheitsverformung, weil sie mit einem relativ großen Abstand von der Drehachse angeordnet ist und nur auf einer Seite getragen wird.

Mehrere andere Variationen des Zwei-Reflexionsdeflektor-Prinzips wurden vorgeschlagen und/oder entwickelt. US-PS 49 34 780 zeigt, daß das Zwei-Reflexionsprinzip mit einem Deflektor erreicht werden kann, der in der Form eines  $90^\circ$ - $45^\circ$ - $45^\circ$ -Prismas geformt ist, und zwar gedreht um eine Achse, die den  $90^\circ$ -Scheitelprismenwinkel schneidet. Mit dieser Deflektorkonfiguration erreicht man eine Massenrotationssymmetrie und zwei Abtastungen pro Drehung. Unglücklicherweise ist diese Deflektorkonfiguration optisch nicht symmetrisch und sieht nicht vor, daß der einfallende Strahl kollinear mit der Deflektordrehachse ist und daher kann diese Konfiguration nicht für Abbildanwendungsfälle mit interner Trommel verwendet werden. Ferner ist ein großes Prismenglied erforderlich bezüglich des optischen Apertur- oder Öffnungserfordernisses und die Konfiguration ist nicht für den Betrieb mit hohen Rotationsraten gut geeignet.

Artikel von G. F. Marshall SPIE Proceedings, Band 1454 Beam Deflection Scanning Technologies (1991), Seite 37 und Laser Focus World, Band 27, Seite 167 (Mai 1991) beschreiben, einen Schmetterlingsabaster, der zwei Reflexionen verwendet, massenrotationssymmetrisch ist und zwei Abtastungen pro Rotation erzeugt. Dieser Deflektor wie das  $90^\circ$ - $45^\circ$ - $45^\circ$ -Prisma ist optisch nicht symmetrisch und der einfallende Strahl ist nicht kollinear mit der Drehachse. Auf diese Weise kann der Schmetterlingsdeflektor nicht für interne Trommelabildsysteme verwendet werden. Er macht auch ein großes Deflektorelement relativ zum optischen Aperturerfordernis notwendig und er ist nicht geeignet für den Betrieb bei hohen Drehraten.

Ein Artikel von L. Beiser in SPIE Proceedings, Band 1454, Seite 33 (1991) beschreibt, was der Verfasser als einen "open-mirror monogon scanner" (Monogon Abaster mit offenem Spiegel) bezeichnet, der zwei Reflexionen verwendet, um seinen Querabtaststrahlfehler unempfindlich bezüglich des Deflektorwobbelns zu machen. Dieser Deflektor hat weder optische noch Massensymmetrie, hat aber den einfallenden Strahl kollinear mit der Deflektordrehachse. Obwohl diese Deflektorkonfiguration eine niedrigere Masse besitzen kann als ein Pentaprisma-deflektor für das gleiche optische Öffnungs- oder Aperturerfordernis, leidet er unter den meisten Problemen, die die Leistungsfähigkeit des Pentaprisma-deflektors bei hohen Drehratenanwendungsfällen behinderten, d. h. dem Ausgleichs- oder Gleichgewichtsproblemen und der durch die Zentrifugalkraft hervorgerufenen Deflektorelementflachheitsverformung, was eine optische Abtaststrahlverformung zur Folge hat.

Die japanische Patent-Veröffentlichung 2-2 26 111 vom 7. September 1990 von Tashiro beschreibt einen zwei Reflexionen verwendenden polarisationsempfindlichen Monofacettenstrahldeflektor (vgl. Fig. 1), der einen Polarisationsstrahlteilerkubus verwendet und ferner eine Viertelwellenlängenverzögerungsplatte 12 und eine hochreflektierende Spiegeloberfläche 14. Der einfallende P-polarisierte Strahl tritt in das Strahldeflektorelement durch seine obere Oberfläche (Oberseite) ein und pflanzt sich zu der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche 16 hin fort, die sand-

wichartig angeordnet ist zwischen zwei im wesentlichen identischen  $45^\circ$  rechtwinkligen Prismenelementen 18 und 20. Diese polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche hat die Eigenschaft, daß bei einer bestimmten Wellenlänge praktisch 100% des P-polarisierten Lichts überträgt, während praktisch 100% des S-polarisierten Lichtes reflektiert wird.

Nach dem Hindurchlaufen durch die polarisationsempfindliche Strahlteilerreflexionsoberfläche 16 pflanzt sich der P-polarisierte einfallende Strahl durch die Viertelwellenlängenplatte 12 zur Spiegeloberfläche 14 fort. Die Viertelwellenlängenplatte und die Reflexionspiegeloberfläche sind senkrecht zu der Einfallsstrahlfortpflanzungsrichtung orientiert und daher wird der einfallende Strahl auf sich selbst zurückretroreflektiert. Aus Gründen der Darstellung ist der retroreflektierte Strahl 22 in Fig. 1 so gezeigt, als würde er sich unter einem kleinen Winkel bezüglich der Einfallsstrahlfortpflanzungsrichtung fortpflanzen.

Infolge des Retroreflexionszustandes pflanzt sich der einfallende Strahl in effektiver Weise zweimal durch die Viertelwellenlängenplatte 12 fort, wodurch er die mit einer Halbwellenplatte assoziierte Phasenverzögerung erfährt. Wenn die Viertelwellenplatte mit ihrer optischen Achse unter  $45^\circ$  gegenüber der Einfallsstrahlpolarisationsrichtung orientiert ist, wird der aus der Viertelwellenplatte austretende retroreflektierte Strahl orthogonal bezüglich der Einfallsstrahlpolarisationsrichtung (P-in-S aus) wie in Fig. 1 gezeigt polarisiert. Der S-polarisierte retroreflektierte Strahl pflanzt sich zurück zu der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche 16 fort, wo er im wesentlichen total reflektiert wird, und zwar in einer Richtung senkrecht zu der Deflektordrehachse 24 und er tritt aus dem Deflektorelement als der Ausgangsabtastlichtsstrahl aus. In der Beschreibung dieser Deflektorkonfiguration von Tashiro tritt der Ausgangsabtaststrahl in eine F-Theta-Abtastlinse ein und wird auf eine flache Bildebene abgebildet.

Während die Polarisationsstrahlteiler und Viertelwellenlängenretroreflektieranordnung die Tashiro-Vorrichtung in die Lage versetzen, praktisch 100% radio-metrische Durchtrittseffizienz zu erreichen, führt die Anordnung eine Reihe von Leistungsproblemen und Einschränkungen ein, und zwar bezüglich der Abbildsystemanwendungsfälle.

Ein Hauptleistungsproblem der Tashiro-Deflektorkonfiguration besteht darin, daß die polarisationsempfindliche Strahlteilerreflexionsoberfläche und die Viertelwellenlängenplatte in dieser Deflektoranordnung sehr wellenlängenabhängig hinsichtlich ihrer Betriebseigenschaften sind und daher kann der Deflektor nur mit einer monochromatischen Lichtquelle verwendet werden. Diese Wellenlängeneinschränkung verhindert, daß dieser Deflektor für Farbbilddarstellungsanwendungsfälle verwendet wird, wo Mehrfachwellenlängenlichtquellen erforderlich sind, um auf photographischem Farbfilm zu schreiben. Selbst bei Verwendung mit einer monochromatischen Lichtquelle ändert sich die Ausgangsabtaststrahlintensität von diesem Deflektor als eine Funktion relativer Änderungen des Einfallsstrahlpolarisationszustandes.

Aus der vorstehenden Beschreibung der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflektoroberfläche 16 in Fig. 1 ergibt sich, daß P-polarisiertes Licht praktisch 100%ig übertragen wird, während S-polarisiertes Licht praktisch 100%ig reflektiert wird und daher hängt die Abtaststrahlintensität sehr stark von dem anfänglichen

Einfallsstrahlpolarisationszustand ab. Auch erzeugt die Polarisationsempfindlichkeitseigenschaft des Deflektors eine Abtaststrahlintensitätsvariation als eine Funktion des Deflektordrehwinkels  $\Theta_R$ , wenn eine linear polarisierte Lichtquelle mit dem Deflektor verwendet wird. Die Beziehung zwischen der Abtaststrahlintensität  $I$  und dem Deflektordrehwinkel ist die folgende:

$$I = I_S \sin^2 \Theta_R + I_P \cos^2 \Theta_R \quad (1)$$

dabei ist  $I_S$  die Intensität der S-Polarisationskomponente und  $I_P$  ist die Intensität der P-Polarisationskomponente des Einfallsstrahls. Bei der Ableitung der Gleichung (1) wurde angenommen, daß die radiometrische Durchsatzeffizienz des Deflektors im wesentlichen 100% für P-polarisiertes Licht betrug, wenn  $\Theta_R$  gleich Null, wie dies für die in Fig. 1 gezeigte Deflektorkonfiguration gilt.

Die Gleichung (1) zeigt, daß die Abtaststrahlintensität für die in Fig. 1 gezeigte Deflektorkonfiguration mit  $\cos^2 \Theta_R$  abnimmt. Diese Abnahme der Abtaststrahlintensität mit dem Deflektorabtastwinkel ist kein signifikantes Problem für Flach-Feldabbildsysteme, da F-Theta-Abtastlinienbetrachtungen normalerweise den Deflektordrehwinkel auf ein Maximum von  $\pm 27^\circ$  begrenzen, daher kann der Intensitätsabfall kompensiert werden, und zwar durch elektronisches Ändern der Modulationsintensität des Abtaststrahls als eine Funktion des Abtastwinkels. Diese Abtaststrahlintensitätsabnahme mit dem Abtastwinkel ist jedoch ein signifikantes Problem für Abbildsysteme mit interner Trommel, da die Mehrzahl dieser Systeme Deflektordrehwinkel zwischen  $\pm 85$  und  $\pm 135^\circ$  verwenden.

Tashiro schlägt vor, die Laserlichtquelle mit der Deflektoranordnung zu drehen, um so das Problem der Abtaststrahlabnahme als Funktion des Deflektordrehwinkels zu lösen. Diese Lösung ist jedoch bei den meisten Abbildungsanwendungen nicht praktikabel, insbesondere bei den Anwendungen, die eine hohe Deflektordrehrate erforderlich machen. Zudem macht die Drehung der Laserquelle mit der Deflektoranordnung den Kreuzabtaststrahlfehler der Laser/Deflektoranordnung empfindlich gegenüber Änderungen des Anordnungs-wobbelwinkels und dadurch wird in effektiver Weise die Abtaststrahlfehlerleistungsfähigkeit beseitigt, die man durch zwei Reflexionen innerhalb des Deflektorelements erreicht hat.

Andere Vorrichtungseigenschaften, die gegen die Verwendung der Tashiro-Deflektorkonfiguration sprechen, und zwar bei internen Trommelabbildanwendungen, sind Probleme, die auftreten bei der Verwendung dieses Deflektors in der "Post-Objektiv" (Nach-Objektiv) Betriebsart und die Senkrechtigkeit des Abtaststrahls bezüglich der Deflektordrehachse. Sowohl die polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche als auch die Viertelwellenlängenplatte sind sehr einfallswinkelabhängig bezüglich ihrer beabsichtigten Betriebscharakteristika und sind daher beschränkt auf die Verwendung im wesentlichen mit einem kollimierten einfallenden Strahl. Diese Strahlkollimationsbedingung schließt die Verwendung dieses Deflektors in der "Nach-Objektiv"-Betriebsart aus, wodurch der Einbau in Abbildsystemen mit interner Trommel kompliziert wird.

Bei einem internen Trommelabbildsystem ist es erwünscht, daß der Abtaststrahl leicht versetzt gegenüber der Senkrechten zur Drehachse ist, so daß das retroreflektierte spekulare (Spiegelsymmetrisch, Spiegelver-

kehrt) Licht von der Bildoberfläche der internen Trommel nicht zurück längs des einfallenden Strahles läuft und Geisterabtaststrahlen und eine Laserintensitätsinstabilität hervorruft. Für die Abbildkonfiguration mit interner Trommel sind die Abtastliniengradheit und die Bildpunktgeschwindigkeitsgleichförmigkeit unabhängig von dem Winkel, den der Abtaststrahl bezüglich der Deflektordrehachse bildet. Diese Abbildparameter hängen ab von der Genauigkeit der Konzentrität zwischen der Deflektordrehachse und der Aufzeichnungsoberfläche der internen Trommel. Ein Abweichungswinkel von  $50$  zwischen dem Abtaststrahl und der Bildoberflächennormalen wird oftmals gewählt, weil dies sicherstellt, daß das retroreflektierte spekulare Licht von der Bildoberfläche nicht wieder in die Fokussierlinse eintritt, und zwar nicht einmal für den größten bei der Konstruktion berücksichtigten Abtaststrahlkonuswinkel. Die Bildauflösung wird dadurch verschlechtert, daß man einen zu großen Abweichungswinkel verwendet zwischen der Bildoberflächennormalen und dem Abtaststrahlhauptstrahl. Diese Verschlechterung tritt deshalb auf, weil der Bildpunkt elliptische Form in der Quer- oder Kreuz- Abtastrichtung erhält, und wegen eines Anstiegs der Bilderweiterung assoziiert mit der Mehrfachreflexion des schrägen Einfallsabtaststrahls innerhalb des Aufzeichnungsmediums.

Alle der zuvor beschriebenen Zwei-Reflexionsdeflektoren besitzen sehr schlechte aerodynamische Formen, die bei hohen Rotationsraten signifikante Luftturbulenzen in den Abtaststrahlpfad einführen. Diese Luftturbulenz kann in signifikanter Weise das Strahlzittern des Systems erhöhen und daher wird das Deflektorelement normalerweise von einem aerodynamisch glatten Gehäuse umschlossen, vgl. dazu beispielsweise die US-Patente 46 62 707 und 49 88 193. Zusätzlich zu diesem aerodynamischen Gehäuse werden normalerweise weitere unerwünschte Eigenschaften in das System eingeführt.

Es sei ferner auf US-PS 48 52 956 hingewiesen, wo ein Monofacettendeflektor gezeigt ist, und zwar mit einem ebenen Nicht-Scheiben-Beugungsgitter (nondisc plane diffraction grating = NPDG), wobei hier ein genauer im wesentlichen Nicht-Querabtaststrahl nachfühler vorgesehen wird und wobei hier die Verwendung bei einer internen Trommel und Flachfeldabbildanwendungen möglich ist. Diese Gitterfacette leitet den einfallenden Laserstrahl, der sich entlang der Deflektordrehachse fortpflanzt zurück, so daß er aus der Deflektoreinheit austritt, und zwar annähernd senkrecht zur Drehachse. Die Drehung der Deflektoreinheit bewirkt, daß der zurückgerichtete Strahl vom Deflektor über einen Winkel abtastet, der gleich dem Deflektordrehwinkel ist. Folgend auf die Gitterfacette in Fig. 6 von '956 ist eine Einzelelementlinse vorgesehen, welche sich mit der Deflektoreinheit dreht, wodurch die Deflektoreinheit in die Lage versetzt wird, Bilder mit hoher Auflösung auf der Innenoberfläche einer Trommel zu erzeugen. Die stationäre F-Theta-Abtastlinse, die der Deflektoreinheit in Fig. 7 des '956-Patents folgt, bilden den Abtaststrahl von der Einheit auf einen Abtastpunkt ab, der eine gerade Abtastlinie auf einer flachen Bildoberfläche erzeugt. NPDG-Deflektoren können für die platzgreifenden Pentaprismendeflektoren in vielen Abbildfällen eingesetzt werden. Diese NPDG-Deflektoren sind wesentlich weniger beeinflusst durch die von der Zentrifugalkraft hervorgerufene optische Strahlverformung, als dies für Pentaprismendeflektoren der Fall ist, und zwar deshalb, weil die NPDG-Deflektoren im

Durchgangsbetrieb arbeiten. Auch ermöglicht es die optische und Massensymmetrie der NPDG-Einzelgitterdeflektoreinheit leicht mit sehr hohen Drehraten angetrieben zu werden. Die auf Gittern basierenden Deflektoren erfordern jedoch stark monochromatische Lichtquellen, und Laserdioden, wie sie jetzt im Handel verfügbar sind, sind nicht zur Verwendung mit diesen Deflektoren geeignet, und zwar wegen der Wellenlängenverschiebungen, die mit diesen Lasern assoziiert sind bei dem "Moden"-Springen.

US-Patent 48 52 956 und C.J. Kramer in "Holographic Deflector for Graphic Arts Systems", Kapitel 5, in dem Text "Optical Scanning", G. F. Marshall, Ed., verlegt bei Marcel Dekker Inc., N.Y., (1991) beschreiben Monofacetten-Nichtscheiben-Ebendiffraktions- oder Beugungsgitter (nondisc plane diffraction grating = NPDG) Deflektoren für Anwendungsfälle mit interner Trommel und flacher Feldabbildung. In Tashiro wird ein Zwei-Reflektionsmonofacetten-polarisationsempfindlicher Strahldeflektor beschrieben, der einen Polarisationsstrahlteilerkubus aufweist, eine Viertelwellenlängenverzögerungsplatte und eine hochreflektierende Spiegeloberfläche. Ein einfallender P-polarisierter Strahl tritt in das kubusförmige Strahldeflektorelement durch dessen obere Oberfläche (Oberseite) ein und pflanzt sich zu der polarisationsempfindlichen Strahlenteilerreflexionsoberfläche fort, die sandwichartig angeordnet ist zwischen zwei im wesentlichen identischen 45° rechtwinkligen Prismenelementen, die das Kubus- oder Würfeldeflektorelement bilden. Diese polarisationsempfindliche Strahlteilerreflexionsoberfläche hat die Eigenschaft, daß sie bei einer bestimmten Wellenlänge optisch 100% des P-polarisierten Lichts überträgt, während optisch 100% des S-polarisierten Lichtes reflektiert werden. Der S-polarisierte retroreflektierte Strahl pflanzt sich zurück fort zu der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche, wo er im wesentlichen total reflektiert wird, und zwar in einer Richtung senkrecht zu der Deflektordrehachse und tritt aus dem Deflektorelement aus als ein S-polarisierter Abtastlichtstrahl.

Einer der Nachteile der NPDG-Deflektorgeometrien und des Tashiro-Würfeldeflektors besteht darin, daß ihre Abtaststrahlintensität als eine Funktion des Abtaststrahlwinkels abnimmt, und zwar bei Verwendung mit einem linearpolarisierten einfallenden Laserstrahl. Diese Abtaststrahlintensitätsabnahme mit dem Deflektorabtastwinkel ist kein signifikantes Problem für Flachfeldabbildungssysteme, da F-Theata-Abtastlinsenbetrachtungen normalerweise den Deflektordrehwinkel auf ein Maximum von  $\pm 27^\circ$  beschränken und daher kann der Intensitätsabfall kompensiert werden, und zwar durch elektronisches Ändern der Modulationsintensität des Abtaststrahles als Funktion des Abtastwinkels. Dieser Abtaststrahlintensitätsabfall mit dem Abtastwinkel ist jedoch ein signifikantes Problem bei Abbildsystemen mit interner Trommel, weil die Mehrzahl dieser Systeme Deflektorrotationswinkel von zwischen  $\pm 85^\circ$  und  $\pm 135^\circ$  verwenden und weil daher der Intensitätsabfall nicht elektronisch kompensiert werden kann. Die Abtaststrahlintensitätsabhängigkeit vom Abtastwinkel kann bei NPDG-Deflektoren eliminiert werden, und zwar entweder durch einen zufällig oder zirkular polarisierten Lasereinfallsstrahl, der unglücklicherweise, die radiometrische Deflektordurchgangseffizienz auf weniger als 50% reduziert. Siehe dazu das oben genannte US-Patent 48 52 956 sowie den Textteil davon.

Bei der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflek-

toroberfläche des Tashiro-Deflektors wird P-polarisiertes Licht praktisch 100% durchgelassen, während S-polarisiertes Licht praktisch 100% reflektiert wird und daher hängt die Abtaststrahlintensität sehr stark von dem Polarisationszustand des anfangs einfallenden Strahles ab.

Auch erzeugt die Polarisationsempfindlichkeitseigenschaft des Deflektors eine Abtaststrahlintensitätsveränderung als eine Funktion des Deflektordrehwinkels  $\Theta_R$ , wenn eine linear polarisierte Lichtquelle mit dem Deflektor verwendet wird. Die Beziehung zwischen der Abtaststrahlintensität I und dem Deflektordrehwinkel wird in der oben genannten Gleichung (1) gegeben. Die Gleichung (1) zeigt, daß die Abtaststrahlintensität für den Tashiro-Deflektor mit  $\cos^2 \Theta_R$  für den linearpolarisierenden Einfallsstrahlzustand abnimmt.

Für NPDG-Strahldeflektoren kann man einen im wesentlichen 100% Beugungswirkungsgrad (Effizienz) für S-polarisiertes Licht erhalten, während man nur ungefähr 5% der Beugungseffizienz oder Wirkungsgrad für P-polarisiertes Licht erhält. Vergleiche dazu in dem oben genannten Text das Kapitel des Autors C. J. Kramer auf den Seiten 269—272 und auch das US-Patent 49 73 112 von Kramer. Die Beugungseffizienzempfindlichkeit gegenüber dem Polarisationszustand reduziert die radiometrische Deflektoreffizienz für zufällig und zirkularpolarisierte Lichtanwendungsfälle. Diese Diffraktionseffizienzeigenschaft oder Beugungswirkungsgradeigenschaft erzeugt auch eine Abtaststrahlintensitätsveränderung als eine Funktion des Abtastwinkels, wenn eine linearpolarisierte Lichtquelle mit NPDG-Deflektor verwendet wird. Die Beziehung zwischen der gebeugten Strahlintensität I und dem NPDG-Deflektordrehwinkel  $\Theta_R$  ist gegeben durch:

$$I = I_S (E_P \sin^2 \Theta_R + E_S \cos^2 \Theta_R) + I_P (E_P \cos^2 \Theta_R + E_S \sin^2 \Theta_R) \quad (2)$$

wobei  $E_P$  und  $E_S$  jeweils die Diffraktionseffizienzen für P- und S-polarisiertes Licht sind und  $I_P$  und  $I_S$  sind die Intensitäten der P- und S-polarisierten Lichtkomponenten des einfallenden Strahls.

Die Gleichung (2) zeigt, daß die Veränderung der Abtaststrahlintensität als eine Funktion des Deflektordrehwinkels für NPDG-Strahldeflektoranordnungen im wesentlichen gleich  $\cos^2 \Theta_R$  ist, wenn der einfallende Laserstrahl S-polarisiert ist für  $\Theta_R = 0$ . Eine gleichförmige Abtaststrahlintensität kann erreicht werden, aber auf Kosten von annähernd 50% der Einfallsstrahlleistung. Ein hoher radiometrischer Durchgangswirkungsgrad kann erreicht werden, aber auf Kosten einer Verminderung der Abtaststrahlintensität als eine Funktion eines Deflektordrehwinkels.

Wie oben beschrieben, schlägt Tashiro vor, die Laserlichtquelle mit der Deflektoranordnung zu verdrehen, und zwar als eine Möglichkeit zur Lösung des Problems der Abnahme der Abtastintensität als einer Funktion des Deflektordrehwinkels. Diese Lösung ist jedoch bei den meisten Abbildanwendungsfällen nicht praktikabel, und zwar insbesondere denjenigen, die eine hohe Deflektorrotationsrate benötigen. Zudem macht die Drehung der Laserquelle mit der Deflektoranordnung den Kreuzabtaststrahlfehler der Laser/Deflektoranordnung empfindlich gegenüber Änderungen des Anordnungs-wobbelwinkels und daher wird in effektiver Weise die Abtaststrahlfehlerleistungsfähigkeit ausgelöscht, die man erreicht, dadurch daß man zwei Reflexionen innerhalb des Deflektorelements besitzt.



## Zusammenfassung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird ein Dualreflektions-Monofacetten-Strahldeflektor vorgesehen, der für mit hoher Auflösung arbeitende Abbildsysteme sowohl der Flachfeld als auch der internen Trommelbauart geeignet ist und der ebenfalls zur Verwendung mit Mehrfachwellenlängenlichtquellen einsetzbar ist und zwar zum Farbbildaufzeichnen auf photographischem Farbfilm. Dieser Deflektor oder Ablenkvorrichtung (auch als ein Abtaster zu bezeichnen) besitzt eine Rotationssymmetrie um seine Drehachse. Die Erfindung sieht einen kubischen oder würfelförmigen Strahldeflektor vor, der einen Quer- oder Kreuzabtaststrahlfehlerleistungsfähigkeit besitzt, der mit dem Pentaprismandeflektor erreicht wird, wobei gleichzeitig eine Abtaststrahlintensität vorgesehen ist, die praktisch unempfindlich ist gegenüber Änderungen des Polarisationszustandes des einfallenden Strahls, gegenüber Änderungen der Wellenfrontdivergenz und der Betriebswellenlänge. Der erfindungsgemäße Deflektor ist somit zur Verwendung mit Laserdiodenlichtquellen geeignet.

Kurz gesagt, sieht die Erfindung einen Dualreflektion-Nicht-polarisierenden Monofacetten (dual reflection unpolarizing monofacet = DRUM)-Strahldeflektor vor, und zwar entsprechend einem Hauptausführungsbeispiel der Erfindung. Ein Reflektor innerhalb eines Monogons sieht zwei Reflexionen des intern einfallenden Strahls vor. Obwohl die radiometrische Durchsatzeffizienz des Deflektors vermindert wird, da einer der reflektierten Strahlen nicht verwendet wird, so ist doch darauf hinzuweisen, daß eine hohe radiometrische Durchsatzeffizienz nicht von primärer Wichtigkeit bei vielen Laserbildaufzeichnungsanwendungsfällen erforderlich ist. Selbst die Laser mit der niedrigsten Leistung besitzen annähernd 10mal mehr Leistung als dies erforderlich ist, um die auf Silberhalogenid basierenden photoempfindlichen Materialien zu belichten, wie sie bei der Mehrzahl der derzeitigen Hochauflösungsbildaufzeichnungssystemen verwendet werden. Die überschüssige Laserleistung in diesen Bildaufzeichnungssystemen wird nicht in jedem Fall verwendet und wird daran gehindert, auf die Bildebene aufzutreffen, und zwar mittels eines neutralen Dichtefilters, der in dem Laserstrahlpfad angeordnet ist. Das Reduzieren der radiometrischen Durchsatzeffizienz der Deflektoreinheit von annähernd 90 auf 20% würde normalerweise nur eine Änderung des Werts oder die Elimination der energiereduzierenden Neutraldichtefilter erforderlich machen, die bislang in diesen Aufzeichnungssystemen verwendet wurden. Es gibt zwei Reflexionen des Ausgangsstrahls, der zum Aufzeichnen verwendet wird, wodurch eine genaue fehlerfreie Querabtastleistungsfähigkeit, die mit einem Pentaprisma erreicht wird, und zwar für 360° um die Drehachse herum, wodurch ein idealer Deflektor für interne Trommelanwendungen vorgesehen wird.

Die Erfindung verbessert auch polarisationsempfindliche Deflektoren, und zwar einschließlich sowohl der NPDG-Deflektoren und der Polarisationsstrahlteilerkubusdeflektoren um im wesentlichen 100% radiometrische Durchsatzeffizienz zu erreichen, während man auch eine Abtaststrahlintensität erhält, die konstant bleibt über den Gesamtbereich von Abtastwinkeln. Die Erfindung sieht daher verbesserte Laserstrahldeflektoren vor.

Erfindungsgemäß werden diese verbesserten Deflektoren dadurch erreicht, daß man einen zirkularpolarisierten einfallenden Strahl verwendet und eine Viertel-

wellenlängenverzögerungsplatte an die Eintrittsöffnung der Deflektoranordnung anbringt, so daß sich die Viertelwellenlängenplatte mit der Deflektoranordnung dreht. Die angebrachte Viertelwellenplatte hat die korrekte Winkelorientierung, um den einfallenden zirkularpolarisierten Strahl in einen linearpolarisierten Strahl umzuwandeln, der eine Polarisationsrichtung aufweist, welche die radiometrische Durchsatzeffizienz der Deflektoranordnung maximiert. Die Polarisationsrichtung des umgewandelten linearpolarisierten Strahls bleibt relativ zur Deflektoranordnung konstant, und zwar infolge der Verwendung eines zirkularpolarisierten Einfallstrahls und dem Vorhandensein der Viertelwellenlängenplatte, die mit der Deflektoranordnung rotiert.

Weitere Vorteile, Ziele und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen an Hand der Zeichnung; in der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 einen Schnitt durch die Drehachse eines polarisationsempfindlichen Strahldeflektors, wie oben diskutiert;

Fig. 2 eine geschnittene Vorderansicht eines Ausführungsbeispiels eines Kubusstrahldeflektors der kubischen Dualreflexionsunpolarisations-Monofacetten (dual reflection unpolarizing monofacet = DRUM)-Bauart;

Fig. 3 eine Ansicht ähnlich der Fig. 2, und zwar eines DRUM-Deflektors mit einem Keil zum Vorsehen einer gekippten Reflexionsoberfläche;

Fig. 4 eine Ansicht ähnlich Fig. 3 eines DRUM-Deflektors mit zwei Keilen, von denen einer die Reflexionsoberfläche vorsieht;

Fig. 5 eine Vorderansicht eines DRUM-Reflektors gemäß Fig. 2 in einem "Prä-Objektiv"-Deflektorsystem;

Fig. 6 eine Vorderansicht eines DRUM-Deflektors wie beispielsweise gemäß Fig. 2 in einem "Post"- oder "Nach"-Objektivdeflektorsystem;

Fig. 7 eine Vorderansicht eines DRUM-Reflektors, gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei hier zwei rechtwinklige Prismen vorgesehen sind mit internen Winkeln von 42,5° und 47,5°, die den strahlteilenden Reflektor davon definieren;

Fig. 8 eine Vorderansicht eines Dualreflektionsabstasters, bestehend aus gesonderten Strahlteiler und Spiegelementen;

Fig. 9 eine perspektivische Ansicht eines Dualreflexionskubusstrahlreflektors, wobei zur Gewichtsverminderung Ecken entfernt sind,

Fig. 10 eine Vorderansicht ähnlich der Fig. 1, wobei der DRUM-Deflektorkubus sich in einem zylindrischen Gehäuse befindet,

Fig. 11 eine Schnittdraufsicht des Deflektors gemäß Fig. 10, und zwar längs Linie 11-1 in Fig. 10.:

Fig. 12 eine vordere Schnittansicht eines DRUM-Deflektors ähnlich dem Deflektor gemäß Fig. 10, aber mit einem gegengleichgewichtigen Anschluß oder eine Öffnung und einem Fenster;

Fig. 13 einen Schnitt des Deflektors gemäß Fig. 12, und zwar längs Linie 13-13;

Fig. 14 eine Schnittansicht eines DRUM-Reflektors gemäß Fig. 2 in einem transparenten zylindrischen Gehäuse;

Fig. 15 einen Schnitt des in Fig. 14 gezeigten Deflektors, und zwar längs Linie 15-15 in Fig. 14;

Fig. 16 bzw. 17 sagittale Schnitt- und Tangentialschnittseitenansichten eines DRUM-Deflektors mit einer zylindrischen nach dem Objektiv angeordneten Linse ("Post-Objektivlinse");

Fig. 18 eine Schnittdraufsicht auf einen zylindrischen DRUM-Deflektor gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 19 eine Schnittdraufsicht eines halbzyklindrischen DRUM-Deflektors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 20 eine Schnittvorderansicht eines DRUM-Reflektors, der einen räumlichen oder spatialen Strahlteiler umfaßt und einen Spiegel, um den Abtaststrahl unempfindlich gegenüber dem Deflektorwobbel zu machen;

Fig. 21 eine Schnittvorderansicht eines DRUM-Deflektors, der geeignet ist zur Anwendung bei einer internen DRUM-Konfiguration und der einen räumlichen Strahlteiler und einen sphärischen Spiegel aufweist, um den Abtaststrahl unempfindlich gegenüber Deflektorwobbeln zu machen;

Fig. 22 und 23 schematische Vorder- bzw. Draufsichten, wobei die Draufsicht längs Linie 24-24 in Fig. 22 erfolgt, und zwar von einem Deflektorsystem, welches die Verfolgung des Abtaststrahls ermöglicht für eine Strahlbewegungsteuerung beim Abtasten;

Fig. 24 eine geschnittene Vorderansicht einer NPDG-Deflektoreinheit gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 25 eine schematische Ansicht eines internen Trommelabtastsystems unter Verwendung einer NPDG-Deflektoreinheit ähnlich der in Fig. 24 gezeigten Einheit, welche eine Translation vorsieht längs der Achse einer Innentrommeloberfläche für Abbildanwendungen mit interner oder innerer Trommel;

Fig. 26 eine Schnittvorderansicht einer polarisationsempfindlichen Dualreflexionskubusstrahldeflektoreinheit gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 27 eine Schnittvorderansicht einer polarisationsempfindlichen Dualreflexionsdeflektoreinheit ähnlich der Einheit gemäß Fig. 26 eines "Post"- oder "Nach"-Objektivabtastsystems insbesondere geeignet für Abbildanwendungen mit interner Trommel;

Fig. 28 eine Schnittvorderansicht einer polarisationsempfindlichen Dualreflexionsdeflektoreinheit gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Der Trommelkubusstrahldeflektor in Fig. 2 besitzt zwei im wesentlichen identische 45°-Rechtwinkelprismenelemente, deren Hypotenusenstirnflächen miteinander verbunden sind, um das kubische Deflektorelement 42 zu bilden. Ein bevorzugtes Material zur Herstellung der rechtwinkligen Prismenelemente 30 und 40 ist ein Glas optischer Qualität, wie beispielsweise BK-7. Glas ist, was sein Gewicht anlangt, sehr starr, extrem stabil und kann ohne weiteres in die Form von hochqualitativen optischen Komponenten gebracht werden. Diese rechtwinkligen Prismenelemente könnten alternativ unter Verwendung von Kunststoffmaterialien optischer Qualität hergestellt werden, wie beispielsweise aus Methylmethacrylat. Obwohl Kunststoffe mechanisch und thermisch weniger stabil sind als Glas, und obwohl sie nicht so leicht in optische Komponenten hoher Qualität wie Glas, umgewandelt werden können, ist ihre Dichte (annähernd 1,2 g/cm<sup>3</sup>) ungefähr die Hälfte derjenigen des BK-7-Glases (mit einer Dichte von annähernd 2,51 g/cm<sup>3</sup>) als eine erwünschte Eigenschaft für einen Monogonstrahldeflektor ist, der mit hoher Rotationsrate umläuft.

Bevor die rechtwinkligen Prismenelemente miteinander verbunden werden, wird eine partialreflektierende Schicht (Film) 32 einer der Hypotenusenstirnflächen ab-

geschieden. Diese partialreflektierende Schicht kann ein Metallüberzug sein, ein mehrschichtiger dielektrischer Überzug oder ein Metall-Dielektrikum-Hybridüberzug. Partiiell reflektierende Metallüberzüge sind verhältnismäßig preiswert in der Herstellung, haben aber eine relativ hohe Absorption (von ungefähr 20%). Partiiellreflektierende mehrere Schichten aufweisende dielektrische Überzüge haben eine sehr niedrige Absorption, sind aber normalerweise teurer als der Metallüberzug und sie können recht unterschiedliche Leistungscharakteristika für S- und P-polarisiertes Licht besitzen, wenn nicht die Verwendung auf eine Laserwellenlänge beschränkt wird. Partiiellreflektierende Metall-dielektrikum-Hybridüberzüge sind normalerweise weniger teurer als mehrschichtige dielektrische Überzüge und können im wesentlichen gleiche reflektierte und durchgelassene Teile des einfallenden Lichtes mit nur 10% Absorption vorsehen, wobei sie ziemlich kleine Unterschiede hinsichtlich der Leistungsfähigkeit für S- und P-Polarisationen über einen ausgedehnten oder ausgedehnten Wellenlängenbereich hinweg besitzen. Auch sind die Metall- und Metall-Dielektrikum-Hybridüberzüge ziemlich unempfindlich gegenüber Änderungen des Winkels des einfallenden Strahls.

Derzeit wird ein eine breite spektrale Bandbreite aufweisender Metall- oder Metall-dielektrikum-Hybridfilm 32 als optischer Überzug für die Strahlteilerreflektoroberfläche bevorzugt, und zwar in dem DRUM-Würfelstrahldeflektor, und zwar deshalb, weil diese Filme- oder Schichten verglichen mit den Mehrschichtdielektrikumüberzügen weniger teuer in der Abscheidung sind und noch wichtiger deshalb, weil sie weniger empfindlich sind gegenüber Änderungen des Einfallstrahlpolarisationszustands, der Wellenfrontdivergenz, des Einfallswinkels und der Betriebswellenlänge. Diese Strahlteilerleistungseigenschaften vermindern indirekt die Deflektorherstellungskosten, dadurch daß standardisierte Deflektorgroßen für eine Anzahl unterschiedlicher Abbildanwendungsfälle verwendet werden können. Darüber hinaus ist die Unempfindlichkeit der radiometrischen Durchsatzeffizienz des Deflektors gegenüber relativen Änderungen des Einfallstrahlpolarisationszustandes in den meisten mit hoher Auflösung arbeitenden Abbildsystemen wichtiger, und zwar insbesondere in Systemen mit interner Trommel, als das Maximieren der radiometrischen Durchsatzeffizienz des Deflektors. Es wird davon ausgegangen, daß für die meisten Bildaufzeichnungsanwendungsfälle die Strahlteilerreflektoroberfläche im wesentlichen gleiche reflektierte und durchgelassene Teile des einfallenden Strahls vorsehen sollte und daß ziemlich kleine Differenzen der Leistungsfähigkeit für die S- und P-Polarisationszustände vorhanden sein sollten.

Vor dem Verbinden der rechtwinkligen Prismenelemente miteinander wird ein Hochreflexionsüberzug 34 auf der Oberfläche, die die untere Oberfläche (Unterseite) des zusammengebauten Kubusdeflektorelements 42 bilden wird, abgeschieden, d. h. auf der Oberfläche entgegengesetzt zu der Einfallstrahlfläche 36. Diese hochreflektierende Spiegeloberfläche ist vorzugsweise ein Überzug mit breiter spektraler Bandbreite aus Metall, einem mehrschichtigen Dielektrikum oder es handelt sich um einen Metall-Dielektrikum-Hybridüberzug. Der Strahl fällt normalerweise senkrecht auf die Spiegeloberfläche und daher sind die Reflexionseigenschaften der Spiegeloberfläche im wesentlichen unabhängig von den relativen Änderungen des Einfallstrahlpolarisationszustandes. Für Einzellaserlinien oder Zeilenab-

tastanwendungsfälle können nichtpolarisierende, eine schmale spektrale Bandbreite aufweisende Mehrschichtdielektrikumüberzüge sowohl für den Strahlteilerdeflektor 32 als auch die hochreflektierenden Spiegel 34 Oberflächen in den DRUM-Kubusstrahldeflektor der Fig. 2 verwendet werden, wodurch die radiometrischen Absorptionsverluste der Deflektoranordnung reduziert werden.

Es ist erwünscht, daß die reflektierende Spiegelschicht 34 eine sehr gute Adhäsion an dem rechtwinkligen Prismenelement besitzt. Das Kubusdeflektorelement 42 ist an einer Befestigungsabstastanordnung 38 mit einem Kleberbindermaterial, wie beispielsweise ein Epoxyharz, angebracht. Dieses Bindermaterial ist primär sandwichartig angeordnet zwischen der Bodenspiegelreflexionsoberfläche 34 des Kubusdeflektorelements 42 und der Oberseite 38 der Befestigungsabstastanordnung. Die Festigkeit der fertigen Verbindung hängt von der Adhäsionsfestigkeit des Reflexionsspiegelfilms 34 am Primen 30 Material ab. Ein Teil des Kleberbindermaterials kann um einen kurzen Abstand über die Seite des Kubusdeflektorelements 42 von dessen Bodenoberfläche oder Unterseite angeordnet sein, wodurch das Verbindungsoberflächengebiet vergrößert wird.

Mit Ausnahme der Einfallstrahloberfläche 36, der Ausgangsabtaststrahloberfläche 44 und der reflektierenden Spiegeloberfläche 34 können alle anderen Außenoberflächen des Kubusdeflektorelements eine feingeschliffene Endbearbeitung besitzen, was bei der Adhäsion des Kleberbindermaterials hilft.

Anti-Reflexionsüberzüge werden verwendet auf den Einfallstrahl- und Ausgangsabtaststrahloberflächen 36, und 44 des Kubusdeflektorelements 42, um sowohl deren Reflexionsverluste zu vermindern und um auch Geisterabtaststrahlen zu reduzieren, die mit spekularem retroreflektiertem Licht von diesen Oberflächen auftreten können. Eine auf Ruß (schwarzem Kohlenstoff) basierende Farbe mit einem Brechungsindex nahe dem des Kubusdeflektorelementmaterials sieht einen Überzug 46 auf der Rückseite (der Oberfläche entgegengesetzt zur Austrittsabtaststrahloberfläche) des DRUM-Kubusdeflektorelements 42 vor. Die interne Glasreflexion von einer solchen gemahlten Glasoberfläche 46 ist weniger als 0,1%.

Obwohl die Primärfunktion der Befestigungsabstastanordnung 38 darin besteht, das Kubusdeflektorelement starr mit einem Deflektordrehmotor 48 zu kuppeln, so besteht auch eine Funktion auch darin, als endgültiges Ausgleichs- oder Gleichgewichtselement für die Deflektoreinheit zu dienen. Diese Befestigungsnahe kann entweder als ein Metall oder ein Kunststoffteil hergestellt werden. Die Verwendung einer Nabe aus rostfreiem Stahl ähnlich der, die in dem Deflektormotorrotor verwendet wird, sieht eine gute Preßpassung der Nabe auf dem Rotor vor und erleichtert die Verwendung von aus rostfreiem Stahl bestehenden Ausgleichsschrauben innerhalb der Nabenanordnung. Es kann auch eine aus Aluminium bestehende Befestigungsnahe verwendet werden. Aluminium ist annähernd dreimal leichter als rostfreier Stahl, was wichtig ist hinsichtlich der mit hoher Geschwindigkeit erfolgenden Deflektorbetriebsweise. Der Ausgleich einer Aluminiumnabe/Deflektoranordnung kann unter Verwendung von Ausgleichsschrauben aus rostfreiem Stahl oder durch Entfernen von Material aus der Nabenanordnung ausgeführt werden. Ein fasergefülltes Plastikmaterial wird ebenfalls für die Befestigungsnahe verwendet, da dieses Material sowohl fest als auch dauerhaft ist, obwohl es die Hälfte des

Gewichts des Aluminiums besitzt. Die Materialentfernung mittels Laserablation ist ein sehr genaues und wirtschaftliches Verfahren für das dynamische Abgleichen der Drehnabenanordnung.

Das Miteinanderverbinden der beiden rechtwinkligen Prismenelemente 30 und 40 zur Bildung des DRUM-Kubusstrahldeflektors 42 wird vorzugsweise erreicht unter Verwendung eines hochfesten optischen Bindemittels, welches eine niedrige Schrumpfung besitzt und eine gewisse Elastizität der Klebung, die vorsieht, daß die Beanspruchung innerhalb des fertigen Kubusdeflektors minimiert wird. Die Firma Norland Product Inc. in New Brunswick, New Jersey, USA, stellt mit UV-Licht auszuhärtende optische Bindemittel dar, welche die oben erwähnten Bindemittelleigenschaften besitzen. Für optische Präzisionsverbindungen wird das Klebemittel Nordland Type 61 empfohlen. Die Firma Electronic Materials Inc. New Milford, Connecticut, USA, stellt UV-lichtaushärtbare Epoxy-Bindemittel her, die ein niedrigeres Schrumpfen zeigen sollen, als die Klebemittel des Norland Typs.

Als nächstes werden die optischen Abbildeigenschaften des DRUM-Deflektors 42 betrachtet. Der einfallende mittige Strahlungsstrahl verläuft kollinear mit der Deflektordrehachse 49 und tritt in das Deflektorelement über seine Oberseite 36 ein, die das Deflektoreintrittsfenster ist. Wenn das Deflektorelement eine Kubusstruktur ist, so ist das Eintrittsfenster auch die Deflektoreintrittsöffnung oder -apertur. Nach dem Eintritt in den Deflektor pflanzt sich der einfallende Strahl zu einem 50%-Strahlteiler fort, der durch die Reflektoroberfläche 32 vorgesehen ist, wodurch der einfallende Strahl in reflektierte und durchgelassene Strahlen aufgeteilt wird. Wenn die Strahlteilerreflektoroberfläche 32 eine vernachlässigbare Absorption besitzt, dann sind annähernd 50% der Einfallstrahlenergie in sowohl den reflektierten als auch den übertragenen Strahlen vorhanden.

Der reflektierte Strahl pflanzt sich zu der schwarz angestrichenen Oberfläche 46 des Deflektorelements fort und wird im wesentlichen vollständig absorbiert, während der durchgelassene Strahl sich zu der hochreflektierenden Bodenspiegeloberfläche 34 des Deflektorelements 42 fortpflanzt, wo er im wesentlichen total retroreflektiert wird. Dieser retroreflektierte Strahl ist kollinear mit dem Einfallstrahl und pflanzt sich daher fort zurück zu der 50% Strahlteilerreflektoroberfläche 32, die diesen retroreflektierten Strahl gleichmäßig in reflektierte und übertragene Strahlen teilt. Der reflektierte Teil des retroreflektierten Strahls pflanzt sich zum Ausgangsfenster (vordere Oberfläche 44) des Deflektor- oder Ablenkelements 42 fort und tritt aus dem Deflektor als der Ausgangsabtaststrahl auf, während der durchgelassene Teil des retroreflektierten Strahls kollinear von dem einfallenden Strahl ist und sich zurück zur Lichtquelle als der durchgelassene retroreflektierte Strahl fortpflanzt.

Der Ausgangsabtaststrahl verläuft senkrecht zu der Deflektordrehachse 49. Dieser senkrechte Zustand wird deshalb erreicht, weil der eingeschlossene Winkel zwischen dem Strahlteilerreflektor 32 und der Spiegelreflexionsoberfläche 34 45° beträgt und weil der einfallende Strahl parallel zu der Deflektordrehachse verläuft. Daß der Ausgangsabtaststrahl senkrecht zur Deflektordrehachse verläuft, ist wichtig für Flachfeldanwendungsfälle, da dies eine gerade Abstastlinie sicherstellt. Wenn der Ausgangsabtaststrahl in dem Flachfeldsystem einen Winkel  $\Theta_z$  bezüglich der Ebene bildet, die senkrecht zur



Deflektordrehachse 49 verläuft, so weicht die Abtastlinie von einer geraden Linie ab, und zwar um den Wert  $\Delta Z$ , was gegeben ist durch:

$$\Delta Z = (X^2 + Y^2 - Y) \tan \Theta_Z \quad (3)$$

wobei X die Versetzung des Abtaststrahls gegenüber der Mitte der Bildebene ist und Y die Brennweite der Fokussierlinse für den "Vor-Objektiv"-Deflektorfall ist, oder aber Y ist der Abstand von der Deflektorachse zur Mitte der Bildebene, wenn dem Deflektor keine Linse folgt. Die Geradheit der Abtastlinie in einem internen Trommelabtastsystem wird nicht durch den Winkel bestimmt, den der Ausgangsabtaststrahl mit der Deflektordrehachse bildet. Die Geradigkeit der Abtastlinie für diesen Fall wird bestimmt durch die Konzentrizität zwischen der Deflektordrehachse 49 und der Innentrommelauflageoberfläche.

Wenn der Strahlteilerreflektor 32 eine vernachlässigbare Absorption besitzt, dann sind annähernd 25% der anfänglichen Einfallsstrahlenergie in sowohl den Ausgangsabtast- und den übertragenen retroreflektierten Strahlen vorhanden. Durch Opfern von 75% oder mehr der Leistung des einfallenden Strahls erreicht die Strahldeflektoreinheit 42 einen Hauptleistungsfähigkeitsvorteil durch Vorsehen eines rotationsmäßig symmetrischen Dualreflexionsmonofacettenstrahldeflektors, der sowohl einen Kreuz- oder Querabtaststrahlwinkel besitzt, der unempfindlich ist gegenüber Änderungen des Deflektorwobbelwinkels unter einer Abtaststrahlintensität, die praktisch unempfindlich ist gegenüber Änderungen des Einfallstrahlpolarisationszustands, der Betriebswellenlänge und der Wellenfrontdivergenz.

Eine Überprüfung der Kubusstrahldeflektoranordnung der Fig. 2 zeigt, daß diese mechanisch einfache Deflektoranordnung im wesentlichen vollständig rotationssymmetrisch bezüglich der Deflektordrehachse 49 ist, und daher kann die Anordnung leicht dynamisch ins Gleichgewicht gebracht werden, und zwar für einen breiten Bereich von Betriebsgeschwindigkeiten einschließlich hohen Drehgeschwindigkeiten oder -raten (beispielsweise ungefähr 20 000 U/min.). Sowohl die Drehsymmetrie als auch die Orientierung der Reflexionsoberflächen 32 und 34 bei dieser Deflektoranordnung 42 vermindern die Empfindlichkeit dieser reflektierenden Oberflächen gegenüber Flachheitsverformung, hervorgerufen durch die Zentrifugalkraft bei hohen Drehraten. Die Reflexionsoberfläche 34 verläuft senkrecht zur Deflektordrehachse und ist daher praktisch invariant gegenüber Änderungen der Reflektoroberflächenflachheit infolge der Wirkung der Zentrifugalkraft. Eine durch Zentrifugalkraft hervorgerufene Flachheitsverformung tritt bei den 50%-Strahlteilerreflektorelement 32 auf, aber diese Flachheitsverformung verschlechtert im wesentlichen die optische Qualität der Strahlwellenfront für Drehraten von weniger als 20 000 U/min und optischen Deflektoraperturgrößen von 25 mm oder weniger nicht insofern als die Strahlteilerreflektoroberfläche 32 sandwichartig angeordnet ist zwischen im wesentlichen eine identische Masse besitzenden Elementen, die auf der Deflektordrehachse 49 zentriert sind. Daher erfährt der größte Teil des wichtigen Mittelteils der Strahlteileroberfläche 32, der in dem Pfad des Strahls liegt, relativ wenig Differenz-Zentrifugalkraft.

Wie dies der Fall beim Pentaprisma ist, so behalten die Abtaststrahlstrahlen, die aus dem Deflektor 42 austreten, ihre Querabtastwinkelorientierung unabhängig

von der Querabtastungswinkeländerung in dem Deflektorwobbelwinkel. Wie beim Pentaprismadeflektor können Änderungen des Kreuz- oder Querabtastdeflektorwobbelwinkels eine Versetzung oder Versetzungsbewegung in der Querabtastrichtung des Abtaststrahls einführen, der aus der Kubusdeflektoranordnung der Fig. 2 austritt. Diese Strahlversetzung oder Versetzungsbewegung hat keinen Einfluß auf die Querabtastfehlerleistungsfähigkeit bei "Vor-Objektiv"-Deflektorsystemen und verschlechtert auch nicht die Bildqualität bei "Nach-Objektiv"-Deflektorsystemen für den Normalbetrieb mit Deflektormotor 48.

Wenn eine Querabtastwinkeländerung um die Mitte des DRUM-Kubusdeflektorelements 42 auftritt, ergibt sich praktisch keine Strahlversetzungsbewegung beim Abtaststrahl, und zwar selbst relativ große Winkeländerung. Wenn eine Querabtastwinkeländerung um einen Punkt herum auftritt, der auf der Deflektordrehachse unmittelbar unterhalb der hochreflektierenden Spiegeloberfläche 34 des DRUM-Kubusdeflektors 42 angeordnet ist, dann ergibt sich eine angenähert 0,2 µm Versetzungsbewegung in dem Ausgangsabtaststrahl, und zwar basierend auf einer 25 mm Kubusaperturgröße und einem drei Bogensekunden Drehwinkel. Drei Bogensekunden ist das Maximum an erwarteter Änderung bei dem Deflektorwobbeln infolge von Fehlern der Deflektormotoranordnung und daher die mit diesen Fehlern assoziierte Strahlversetzung einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Qualität von "Nach-Objektiv"-Abtastsystemen besitzen, welche den Kubusdeflektor 42 verwenden.

Die gesamte Drehsymmetrie der Abbildeigenschaften der aus der Deflektoranordnung 42 austretenden Abtaststrahlungsstrahlen wird dadurch erreicht, daß man den zentralen Einfallstrahlungsstrahl kollinear macht mit der Deflektorrotationsachse, dadurch daß man das Deflektorelement auf der Deflektordrehachse zentriert. Unter diesen Bedingungen hält der einfallende Strahl einen konstanten Einfallswinkel mit den optischen Oberflächen des Deflektors 42 und daher ist der Abtaststrahlwinkel gleich dem Deflektordrehwinkel. Der Deflektordrehwinkel wird durch den Deflektordreh- oder -spinmotor 48 vorgesehen, der entweder ein Hysteresewechselstrommotor oder ein bürstenloser Gleichstrommotor sein kann, wobei entweder Luftlager oder Kugellager verwendet werden.

Ein fester Deflektorwobbelwinkel trägt weder bei zum Querabtastungsfehler noch zu dem Spurfehler bei der Abtastung für ein Monofacettendeflektorsystem, weil jedwede sich ergebende Veränderung der Abtaststrahlposition die gleiche ist für jede Abtastzeile oder -linie. Ein fester bei der Abtastung auftretender "In-scan"-Deflektorwobbelwinkel bewirkt eine entsprechende Versetzung des Abtaststrahlwinkels für die Deflektorgeometrie, wie in Fig. 2 gezeigt. Dieser Versetzungswinkel bleibt konstant mit der Abtastposition und ist daher ohne weiteres dadurch kompensiert, daß man ein den Beginn der Abtastung detektierendes Signal verwendet, um den Start von Abtastzeilenpixeldaten zu synchronisieren, wie dies bei jetzt im Gebrauch befindlichen Bildsätzen der Fall ist.

Ein Änderung der in Abtastung befindlichen Komponente des festen Deflektorwobbelwinkels bewirkt eine gleiche entsprechende Winkeländerung in sowohl dem Deflektorelementdrehwinkel als auch dem Abtaststrahlwinkel. Während daher Änderungen des festen Deflektorwobbelwinkels nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Abtaststrahlverfolgungsfehlerleistungsfähigkeit

higkeit des DRUM-Kubusdeflektorsystems 42 haben, können diese Änderungen in signifikanter Weise zu der "In-Abtastung"-Zitterleistungsfähigkeit des Systems beitragen. Somit sollten Änderungen des Deflektorwobbelns, das zu dem "In-Abtastung"-Zitterfehler beiträgt, minimiert werden. Dies wird dadurch erreicht, daß man die Vibrationen der Deflektormotoranordnung reduziert, was eine Änderung des Deflektorwobbelwinkels zur Folge hat. Diese Vibrationsminimierung wird erreicht durch präzises Ausgleichen oder Ingleichgewichtbringen der Deflektormotoranordnung und dadurch, daß man Spiel in der Rotor/Lageranordnung vermeidet, die im Motor 48 verwendet wird. Die Verminderung der Masse der Deflektoreinheit trägt in signifikanter Weise zur Minimierung der dynamischen Änderungen des Deflektorwobbelwinkels bei Hochgeschwindigkeitsdrehbedingungen bei.

Es sei der Fall betrachtet, wo die restlichen Deflektormotorfehler für einen mit Kugellager ausgerüsteten Motor eine Maximaländerung des "In-Abtastung"-Deflektorwobbelwinkels von ungefähr drei Bogensekunden hervorrufen, was einem "In-Abtastung"-Positionstrahlfehler für den Deflektor 42 von 1,5 µm entspricht, wenn der Deflektor in einem Abbildsystem mit interner Trommel mit einem Radius von 100 mm verwendet wird. Ein 7,3 µm "In-Abtastung"-Strahlversetzungsfehler wird für eine drei Bogensekundenwobbeländerung erreicht, wenn dieser Deflektor in einem Flachfeldabbildsystem verwendet wird, was eine F-Theta-Abtastlinse verwendet, die eine 500 mm Brennweite besitzt.

Der mit dem Deflektormotornachlaufen assoziierte Abtaststrahlzitterfehler ist normalerweise ein größeres Problem mit monofacettigen Deflektoren als mit ihrem multifacettigen Äquivalent. Dies liegt darin, daß die Mono- oder Einzelfacetten üblicherweise eine geringere Rotationsträgheit besitzt, und zwar infolge eines signifikanten kleineren Deflektordurchmessers. Das Motornachlaufen bewirkt eine geringe Variation des "In-Abtastung"-Zitterns, das kompensiert werden kann durch Verwendung einer Takt- oder Clockrate mit variablem Pixel. Der Monofacettddeflektor 42 kann mit einem Wellencodierer ausgerüstet sein, um die Veränderung der Deflektormotorgeschwindigkeit assoziiert mit dem Motornachlaufen (motor hunting) zu messen. Die Wellencodierdaten können alleine verwendet werden oder in Verbindung mit einem Startabtastdetektorsignal, um die Änderung der Pixeltaktrate zu berechnen, die erforderlich ist, um die Motornachfolge oder Verfolgungskomponente des "In-Abtastung"-Zitterns zu kompensieren.

Die Variation der Abtaststrahlintensität infolge der Änderung des Einfallstrahlpolarisationszustands relativ zum Deflektorelement 42 wird im Deflektorelement 42 minimiert durch die Art des optischen Überzugs, wie er für die Strahlteilerdeflektoroberfläche 32 in dem Deflektor verwendet wird, wie dies in der Beschreibung der Deflektorherstellungsverfahren bemerkt wurde, und ferner erfolgt die Minimierung dadurch, daß man den Abtaststrahl zweimal durch die partiellreflektierende Oberfläche 32 sich fortpflanzen läßt. Um den Vorteil des zweimaligen Durchlaufs durch die Strahlteileroberfläche zu veranschaulichen sei der folgende beispielhafte Fall betrachtet: das Reflektanz/Transmittanzverhältnis der Teileroberfläche ist 0,6/0,4 bzw. 0,4/0,6 für S- und P-polarisiertes Licht. Die Teileroberfläche 32 besitzt eine vernachlässigbare Absorption. Der Einfallstrahl ist P-polarisiert bezüglich des Deflektors, der sich in der Mitte der Abtastposition befindet und die hochreflektie-

rende Spiegeloberfläche im Deflektor besitzt im wesentlichen 100% Reflektivität oder Reflexionsvermögen. Für diese Parameter beträgt die Abtaststrahlintensität 24% der Einfallstrahlintensität für die Mitte der Abtastungsposition, und zwar basierend darauf, daß die Strahlteileroberfläche 60% des einfallenden P-polarisierten Strahls zum Spiegelreflektor überträgt und 40% des retroreflektierten Strahls von dem Spiegelreflektor hin den Ausgangsabtaststrahl retroreflektiert. Wenn der Deflektor um 90° von der Mitte der Abtastposition verdreht wird, so ist die Abtaststrahlintensität noch immer 24% der Einfallstrahlintensität, und zwar basierend auf der Tatsache, daß die Strahlteileroberfläche 40% des einfallenden S-polarisierten Strahls zu dem Spiegelreflektor überträgt und 60% des retroreflektierten Strahls von dem Spiegelreflektor in den Ausgangsabtaststrahl.

Aus diesem Beispiel ist klar, daß das zweimalige Durchtretenlassen des Strahls durch die Strahlteileroberfläche mit der Polarisation in Beziehung stehende Differenzen in dem Reflektanz/Transmittanz-Verhältnis der Teileroberfläche kompensiert. Für die oben angegebenen Deflektorparameter wird die Ausgangsabtaststrahlintensität stets 24% der Einfallstrahlintensität sein, und zwar unabhängig von der Einfallstrahlpolarisation, ob diese linear, zirkular oder elliptisch ist. Diese Unabhängigkeit der Abtaststrahlintensität bezüglich der Änderungen beim Einfallstrahlpolarisationszustand verbessert nicht nur die Leistungsfähigkeit des Abtastbildsystems, sondern vereinfacht auch im großen Ausmaße die Konstruktion, die Herstellung und die Ausrichtung des Systems.

Fig. 3 zeigt einen DRUM-Kubusstrahldeflektor 50 ähnlich dem Deflektor 42, wo die Fortpflanzung des retroreflektierten Strahls zurück zur Lichtquelle (Laser) hin vermieden wird. Der Kollinearzustand zwischen einfallenden und durchgelassenen oder transmittierten, retroreflektierten Strahlen, wie in Fig. 2 gezeigt, kann nicht erwünscht sein, weil dies Geisterabtaststrahlen und Laserintensitätsinstabilität verursachen kann.

In dem Deflektor 50 ist ein Metallkeilglied 52 sandwichartig angeordnet zwischen dem Boden des Kubusdeflektorelements und der Befestigungsablenkungsanordnung. Dieses Keilglied 52 kippt um das Kubusdeflektorelement, so daß der retroreflektierte Strahl von der Spiegelreflexionsoberfläche unter einem Winkel bezüglich des einfallenden Strahls verläuft. Der Keilwinkel dieses Gliedes braucht nur im Bereich von 1 zu 2,5° liegen, um zu bewirken, daß der übertragene retroreflektierte Strahl winkelmäßig getrennt ist um 2 bis 5° gegenüber der Einfallstrahlrichtung und wobei dadurch das Entstehen von Geisterabtaststrahlen und Laserintensitätsinstabilität vermieden wird.

Da das Keilwinkelerfordernis relativ klein ist, beeinflußt das Vorhandensein dieses Keilgliedes und das zugehörige Kippen des Kubusdeflektorelements die dynamische Drehbetriebscharakteristika des kubischen Deflektorelements der Deflektoranordnung für die meisten Anwendungsfälle nicht. Das Vorhandensein dieses Keilglieds 52 hat keinen Einfluß auf den Deflektorkreuzabtaststrahlwinkel und führt nur eine Parallelversetzungsbewegung in den Ausgangsabtaststrahl ein, wie dies durch den Einschluß des gestrichelten Ausgangsabtaststrahlungsstrahls 54 dargestellt ist, der der Position des Abtaststrahls entspricht, wenn das Kubusdeflektorelement nicht durch das Keilglied gekippt ist. Selbst ein relativ großer fester Deflektorwobbelwinkel ruft weder ein Querabtast- noch ein Strahlnachfüllfehlerproblem beim Abtasten für ein Monofacettddeflektorsystem

ein, weil die sich ergebende Veränderung des Abtaststrahlverfolgungs- oder -nachfühlwinkels die gleiche ist für jede Abtastzeile oder -linie. Das Keilglied 52 kann auch, wenn gewünscht, entweder aus Kunststoff oder Glasmaterialien hergestellt werden oder der Keilwinkel kann direkt in dein Befestigungsnaebenelement 38 herausgearbeitet sein. Ein hinreichender Keilwinkel kann dadurch vorgesehen werden, daß man die Schicht des Epoxybindemittels verjüngt, die dazu verwendet wird, um das Kubusdeflektorelement an der Befestigungsnaebenordnung 38 zu befestigen oder dort zu verbinden. Der Verjüngungswinkel des Bindemittelfilms kann dadurch eingestellt werden, daß man ein kleines Stück einer Unterlage unter eine Bodenkante des Kubusdeflektorelements während des Verbindungsprozesses legt.

Die Strahldeflektoranordnung 56 gemäß Fig. 4 verwendet ein Glaskeilglied 58, das sandwichartig angeordnet ist zwischen dem Boden des Kubusdeflektorelements 56 und einem Metallkeilglied 60 befestigt an der Oberseite der Befestigungsnaebenordnung 38. Dieses Glaskeilglied 58 ist optisch mit dem Kubusdeflektorelement 50 verbunden, und zwar insbesondere durch ein Bindemittel (Zementmittel). Dieses Glaskeilglied 58 kann aus dem gleichen Material hergestellt werden, welches dazu verwendet wird, um die Prismen des Kubusdeflektorelements 56 herzustellen. Unter diesen Umständen pflanzt sich der einfallende Strahl von dem Kubuselement in das Glaskeilglied fort, ohne im wesentlichen irgendeine Änderung in der Fortpflanzungsrichtung, dem Polarisationszustand oder den Intensitätsspektrum zu erfahren. Die Unterseite 62 des Glaskeilglieds 58 besitzt darauf abgeschieden einen hochreflektierenden Spiegelüberzug.

Das Glaskeilglied 58 kippt das Kubusdeflektorelement 56 derart zurück, daß dessen Oberseite im wesentlichen senkrecht zu der Deflektordrehachse 49 verläuft. Wenn die Glas- und Metallkeilglieder aus Materialien hergestellt sind, die ähnliche Dichten besitzen, so erreicht die Deflektoranordnung der Fig. 4 praktisch die totale Rotationsmassensymmetrie bezüglich der Deflektordrehachse. Obwohl das Erreichen der Rotationsmassensymmetrie erwünscht ist, besteht der Hauptgrund für die Anbringung des Glaskeilglieds an dem Kubusdeflektorelement darin, den eingeschlossenen Winkel von 45° zwischen dem Strahlteilerreflektor und der Spiegelreflexionsoberfläche zu ändern. Wenn man diesen Einschlußwinkel nicht mit 45° hat, so hat dies zur Folge, daß der Ausgangsabtaststrahl nicht senkrecht zu der Deflektordrehachse ist, wenn der einfallende Strahl parallel zur Drehachse 49 verläuft. Das Metallkeilglied 60 kompensiert das Glaskeilglied und bringt den übertragenen retroreflektierten Strahl außer Parallelität mit dem einfallenden Strahl.

Es ist erwünscht, daß der Ausgangsabtaststrahl nicht senkrecht zur Deflektordrehachse für Abbildanwendungsfälle mit interner Trommel verläuft, denn das retroreflektierte spekulare oder Spiegellicht von der internen Trommelbildoberfläche pflanzt sich nicht zurück entlang des einfallenden Strahls fort und verursacht Geisterstrahlen und Laserintensitätsinstabilität. Spekulares retroreflektiertes Licht von der Bildebene ist ein größeres Problem bei internen Trommelsystemen als bei Flachfeldabbildsystemen, weil der Deflektor in dem Trommelsystem konzentrisch zur Aufzeichnungsoberfläche verläuft und daher der Ausgangsabtaststrahl stets senkrecht zu der Aufzeichnungsebene verläuft, wenn der Abtaststrahl senkrecht zu der Deflektordrehachse

läuft. Ein 5°-Abweichungswinkel zwischen dem Ausgangsabtaststrahl und der Trommelbildoberflächennormalen kann sicherstellen, daß das retroreflektierte spekulare Licht von der Bildoberfläche nicht wieder in die Abtastfokussierlinse eintritt, selbst nicht für den größten Abtaststrahlenstrahlkonuswinkel, für den die Auslegung erfolgt. Wie zuvor erwähnt, wird die Geradheit der Abtastlinie oder -zeile für das Abtastsystem mit interner Trommel durch die Konzentrität zwischen der Deflektordrehachse und der Trommelaufzeichnungsoberfläche bestimmt und hängt nicht ab von dem Winkel, der Abtaststrahl mit der Deflektordrehachse bildet.

Die winkelmäßige Abweichung des Ausgangsabtaststrahls von einem DRUM-Kubusstrahldeflektor und der Bildoberfläche kann ebenfalls erreicht werden durch optisches Verbinden eines kleinen Scheitelwinkelprismas mit der (oberen) Deflektoreingangsoberfläche oder der (vorderen) Ausgangsfläche, wobei dies aber weniger vorzuziehen ist, da größere Prismenscheitelwinkel erforderlich sind, um den gleichen Strahlabweichungswinkel zu erhalten und ein Teil der Drehmassensymmetrie geht verloren, insbesondere dann, wenn das Prisma auf der Ausgangsdeflektoroberfläche angeordnet ist. Der Keil kann auch direkt in den Prismen hergestellt sein, um den nicht-senkrechten Abtaststrahlzustand zu erreichen.

Die hintere, schwarz angestrichene Oberfläche in den Deflektorelementen 52 und 56 absorbieren praktisch 100% des auf diese Oberfläche einfallenden Lichts und eliminieren dadurch Geisterabtaststrahlen. Reflexionen von dieser hinteren Oberfläche können alternativ minimiert werden durch optisches Polieren und Anordnen eines Anti-Reflexions (AR) optischen Überzugs darauf. Die AR-Überzüge sind jedoch beträchtlich teurer als der schwarz gemalte Überzug und der schwarze Farbüberzug besitzt eine signifikant niedrigere Reflexion als die normal im kommerziellen Bereich verfügbaren Multischicht AR-Überzüge. Auch wird nur eine Strahlblockierlösung wie die vorgeschlagene angestrichene Oberfläche für eine Deflektoranordnung arbeiten, die in Abbildsystemen mit interner Trommel verwendet werden, die einen mehr als ungefähr 180° betragenden Abtastwinkel besitzen. Durch die Rückseite der Deflektoranordnung übertragenes Licht wird das Aufzeichnungsmedium für Abbildsysteme belichten, die mehr als 180° verwenden.

Gemäß Fig. 5 ist ein DRUM-Kubusstrahldeflektor 42 in ein "Vor-Objektiv"-Flachfeldabbildsystem eingebaut. Ein DRUM-Kubusstrahldeflektor 42 ist gemäß Fig. 6 in ein "Nach-Objektiv"-Innentrommelabbildsystem eingebaut. In diesen Fig. 5 und 6 ist nicht gezeigt, die Systemlichtquelle, die eine einzige monochromatische Laserquelle oder eine Mehrfachwellenlängenquelle sein kann, die im Einfallsstrahlenexpansions- oder -weiterungs und Kollimieroptik, der Deflektordrehmotor und die flache Bildebene oder die gekrümmte Trommelbildebene, auf die die Ausgangsabtaststrahlen fokussiert werden.

Das Deflektorelement 42 in Fig. 5 ist gekippt dargestellt, so daß der durchgelassene retroreflektierte Strahl nicht parallel zum einfallenden Strahl verläuft. Das Deflektorelement in Fig. 6 ist ebenfalls gekippt, um zu verhindern, daß der durchgelassene retroreflektierte Strahl und der einfallende Strahl parallel verlaufen, obwohl dies so in der Figur dargestellt ist. Die Deflektoranordnung 56 der Fig. 4 kann in dem internen Trommelsystem mit nachgeschaltetem Objektiv ("Nach-Objektiv") gemäß Fig. 5 verwendet werden, wodurch das Auftreten von Geisterabtaststrahlproblemen und Laserinten-

sitätsinstabilitätsproblemen, die mit dem retroreflektierten Spiegel oder Spukularlicht von der Trommel-bildebene zusammenhängen, minimiert werden.

In Fig. 7 ist ein DRUM-Rechtwinkelstrahldeflektor 64 gezeigt, der zwei im wesentlichen identische rechtwinklige Prismen besitzt, welche eingeschlossene Winkel von 42,5 und 47,5° besitzen und die Rückseite 70 des Deflektorelements wird als die hochreflektierende Spiegeloberfläche verwendet, während die Bodendeflektorelementoberfläche 72 die lichtabsorbierende schwarz gemalte Oberfläche ist. Obwohl das Deflektorelement 64 nicht von kubischer Gestalt ist, ist es doch drehmäßig massensymmetrisch bezüglich der Deflektordrehachse 49, weil das Deflektorelement auf der Drehachse zentriert ist.

Der eingeschlossene Winkel zwischen dem Strahlteilerreflektor 74 und der Spiegelreflexionsoberfläche des Deflektors 64 (d. h. der Anordnung) beträgt nicht 45° und daher ist der Ausgangsabtaststrahl nicht senkrecht zur Deflektordrehachse 49, wenn der einfallende Strahl parallel zur Drehachse 49 ist. Dieser nicht senkrechte Ausgangsabtaststrahlzustand ist geeignet für Abbildsysteme mit interner Trommel. Die Konfiguration gemäß Fig. 7 kann wirtschaftlicher sein zum Erreichen des nicht senkrechten Abtaststrahlzustandes, als dies für die Deflektorkonfiguration gemäß Fig. 4 gilt.

Die Abtaststrahl-nachführ- oder Trackingeigenschaften des Deflektors 64 sind identisch zu denen, die erreicht werden mit DRUM-Kubusstrahldeflektoren gemäß den Fig. 2 bis 6 und daher kann die hintere Deflektorelementoberfläche in diesen DRUM-Kubusdeflektoranordnungen als die Spiegelreflexionsoberfläche dienen, während das Bodendeflektorelement als die schwarz gemalte Oberfläche dient. Ein potentieller Vorteil der Anordnung der schwarz gemalten Oberfläche am Boden des Deflektorelements besteht darin, daß jedwede Nichtflachheit und/oder Beanspruchung induziert oder eingeführt in diese Oberfläche durch Befestigen oder Verbinden des Elements mit der Befestigungsanordnung keinen Effekt auf die optische Wellenfrontqualität des Abtaststrahls haben würde. Der Nachteil der Verwendung der hinteren Deflektorelementoberfläche als der Spiegelreflexionsoberfläche besteht darin, daß diese Oberfläche Zentrifugalkraft induzierte Flachheitsverformung zeigt, während die untere oder Bodendeflektorelementoberfläche praktisch gegenüber dieser Art von Verformung invariant oder unempfindlich ist.

Fig. 8 zeigt eine DRUM-Strahldeflektoranordnung 76, die aus getrennten Strahlteiler 74 und Spiegel 80 Elementen zusammengesetzt ist, und zwar im Gegensatz zu dem Aufbau aus Prismenelementen. Obwohl die Abtastabbildeigenschaften dieser Deflektoranordnung 76 im wesentlichen identisch zu denjenigen der DRUM-Kubusstrahldeflektoren in den Fig. 2-6 ist, ist dieser Deflektor 76 nicht rotationsmäßig so massensymmetrisch wie die Deflektoren 42, 50, 56 und 64 und die Strahlteilerdeflektorelementoberfläche 78 dieses Deflektors ist weniger empfindlich bezüglich der durch Zentrifugalkraft hervorgerufenen Flachheitsverformung, als die Strahlteileroberflächen in den DRUM-Kubusstrahldeflektoren 42, 50, 56 und 64.

Der Deflektor 76 kann leichter sein, als DRUM-Kubusstrahldeflektoren, die Glasprismendeflektorelemente verwenden, weil das Deflektorgehäuse 82 dieses Deflektors 76 aus einem Kunststoffmaterial anstelle von Metall hergestellt sein kann. Eine Kunststoffdeflektorgehäusestruktur kann niedrigere Herstellungskosten

besitzen als sie für die DRUM-Glasprismendeflektoren erreichbar sind. Die Deflektor 76 Konfiguration hat eine aerodynamischere Form als die zuvor beschriebene DRUM-Kubusdeflektoren, insofern als das Gehäuse 82 zylindrisch geformt ist, Fenster 84 und 86 aufweist, um die Öffnungsanschlüsse in dem Deflektorgehäuse 82 abzudecken.

Ein flaches Eingangsfenster 88 ändert nicht die optischen Abblendeigenschaften der Deflektoranordnung 76. Wenn ein zylindrisch geformtes Deflektorgehäuse 82 verwendet wird, besitzt das Ausgangsfenster 86 ein dem Deflektorgehäuse entsprechendes zylindrisches Profil. Daher arbeitet dieses Ausgangsfenster als eine negative Minikuszylinderlinse mit einem konzentrischen Krümmungsmittelpunkt für seine beiden Oberflächen. Die zylindrische Fokussierkraft oder -leistung dieses Ausgangsfensters führt einen Astigmatismus in die Ausgangsabtastwellenfront ein.

Die Größe der zylindrischen Brennweite des Ausgangsfensters ist gegeben durch:

$$f_w = -\frac{n(r_2 + r)}{(n-1)t} \quad (4)$$

dabei ist  $n$  der Brechungsindex des Fenstermaterials,  $t$  die Dicke des Fensters und  $r$  der Krümmungsradius des Fensters, der der gleiche ist wie der Krümmungsradius für die Deflektorgehäuseaußenoberfläche. Bei der Ableitung der Gleichung (3) wurde angenommen, daß  $r \gg t$  ( $r$  wesentlich größer als  $t$ ) und daß Luft als Medium auf beiden Seiten des Fensters ist. Aus der Gleichung (3) ergibt sich, daß das Ausgangsfenster so dünn wie möglich sein sollte, wodurch die Größe des Astigmatismus, die es im Ausgangsabtaststrahl erzeugt, reduziert.

Die Brennkraft des zylindrischen Fensters 86 kann direkt zur Brennkraft der Systemabtastlinse hinzuaddieren. Die kombinierte Brennkraft für diese Linsenelemente kann hinsichtlich der Brennweite  $f_c$  wie folgt ausgedrückt werden:

$$f_c = \frac{f_s f_w}{f_s + f_w} \quad (5)$$

dabei ist  $f_s$  entweder die Brennweite der F-Thetaabtastlinse für ein Flachfeldabbildsystem oder der Bildtrommelradius für ein Abbildsystem mit interner Trommel. Der Abtaststrahl-astigmatismus für den Fall des zylindrischen Fensters ist gleich der Differenz der Brennweite  $\Delta f$  zwischen  $f_c$  und  $f_s$ , was gegeben ist durch:

$$\Delta f = \frac{-f_s^2}{f_s + f_w} \quad (6)$$

Aus den Gleichungen (4) und (6) ergibt sich, daß der Abtaststrahl-astigmatismus stark abhängt von sowohl der Ausgangsfensterdicke als auch der Systemabtastbrennweite  $f_s$ . Ein akzeptabler Wert für den Abtaststrahl-astigmatismus ist das  $\Delta f < 5$  mm für Abbildsysteme mit niedriger bis mittlerer Auflösung ( $< 600$  Punkte/Zoll = dots/inch), daß  $\Delta f < 2$  mm für Systeme mit mittlerer bis hoher Auflösung ( $< 1200$  Punkte/Zoll = dots/inch) und daß  $\Delta f < 1$  mm für Abbildsysteme mit hoher bis sehr hoher Auflösung. Basierend auf diesen Kriterien kann man für ein gegebenes Bildauflösungsanfordernis bestimmen, was der Maximalwert von  $f_s$  als eine

Funktion von  $f_w$  sein kann:

$$f_s = -f_w \Delta f \quad (7)$$

Bei Ableitung der Gleichung (7) aus der Gleichung (6) wird angenommen, das  $f_w > \Delta f$ .

Als ein Beispiel für den Astigmatismus, wie er in den Ausgangsabtaststrahl durch ein zylindrisch geformtes Ausgangsfenster eingeführt wird, sei der Fall betrachtet, wo die Fensterparameter  $n = 1,52$ ,  $t = 1$  mm und  $r = 24$  mm sind, was ergibt  $f_w \approx -2000$  mm. Dieses Dickenfenster hat zu viel zylindrische Leistung oder Kraft mit Ausnahme für Systeme mit niedriger bis mittlerer Auflösung, die eine Abtastbrennweite  $f_s \leq 100$  mm haben. Die Verminderung der Fensterdicke auf 0,2 mm erhöht  $f_w$  auf ungefähr 10 m, was die Verwendung des Fensters für Abtastsysteme für mittlere bis hohe Auflösung ermöglicht mit  $f_s \leq 140$  mm. Die weitere Verminderung der Fensterdicke auf 25  $\mu$ m erhöht  $f_w$  um ungefähr 80 m was den Wellenfrontastigmatismus auf akzeptable Werte vermindert, und zwar für Abbildsysteme mit hoher bis sehr hoher Auflösung mit  $f_s \leq 280$  mm.

Bei einer Anzahl von Anwendungsfällen kann es vorteilhaft sein zur Erreichung einer besseren Abtaststrahlwellenfrontqualität in einem gewissen Umfang bei der aerodynamischen Formgestaltung des Deflektors Opfer zu bringen. Dieser Ausgleich zwischen aerodynamischen und optischen Eigenschaften wird dadurch erreicht, daß man das zylindrisch gekrümmte Fenster durch eine sphärische Linse oder ein flaches Fensterelement ersetzt, wie dies im Kapitel 5 der folgenden Literaturstelle erläutert ist: "Holographic Deflector for Graphic Arts Systems" in "Optical Scanning" von Ed. By G. F. Marshall und herausgegeben von Marcel Decker, Ing. New York (1991), und zwar ist dies dort für einfache nicht-scheibenförmige Hologondeflektoren beschrieben. Auch kann mit einem gekrümmten Fenster assoziierte zylindrische Fokussierleistung oder -kraft dadurch kompensiert werden, daß man ein positives (sammelndes oder konkarves) Zylinderlinsenelement der Deflektoranordnung hinzufügt (vgl. dazu US-PS 46 62 707) oder aber dadurch, daß man in eine der optischen Oberflächen der Deflektoranordnung positive zylindrische Fokussierleistung inkorporiert. Die Inkorporation einer positiven zylindrischen Leistung oder Kraft in das gekrümmte Fensterelement wird im folgenden erläutert.

Mikroskopschlittenabdeckgläser liegen im Bereich zwischen 0,17 und 0,2 mm und sind relativ parallel und haben eine relativ gute optische Qualität und sie können daher als Fenster 84, 86 und 88 in der Deflektoranordnung 76 oder anderen Deflektoranordnungen verwendet werden, die flache und zylindrisch geformte Fenster besitzen. Diese Abdeckglasfenster können mit einem Anti-Reflexionsüberzug versehen sein, um sowohl ihre Reflexionsverluste zu vermindern als auch um die Geisterabtaststrahlen zu reduzieren, die mit dem spiegelnd retroreflektierten Licht von diesen Fensteroberflächen assoziiert sind.

Um den Krümmungsradius des Deflektorgehäuses ohne Brechen zu entsprechen, können die Ausgangsfenster auf den gewünschten Deflektorgehäuseradius dadurch geformt werden, daß man das Fenster auf die Gaserweichungstemperatur erhitzt und dies dann sich einer Form mit dem gewünschten Radius anpassen läßt. Die Firma Corning Glass stellt Glasflächenelemente oder Glasplättchen mit Dicken von weniger als 0,1 mm her, die direkt gebogen werden können, um angenom-

menen Deflektorgehäusegrößen ohne Brechen angepaßt zu werden. Für die Ausgangs- und Gegenausgleichsfenster in Deflektoranordnungen können auch 25  $\mu$ m dicke wärmeschrumpfende klare Plastikfilme Verwendung finden. Dieses Plastikfilmmaterial ist nicht nur vorteilhaft hinsichtlich seiner Nicht-Beeinflussung der Ausgangsabtaststrahlwellenformqualität, sondern auch deshalb, weil das Plastikmaterial es ermöglicht, den Film eng an das zylindrisch geformte Deflektorgehäuse anzupassen, um eine sowohl lichtmäßig als auch aerodynamisch glatte Oberfläche vorzusehen. Faltungen in dein Kunststoffilm können von den Austrittsöffnungsgebieten entfernt werden, nachdem der Film an dem Deflektorgehäuse befestigt ist, und zwar dadurch, daß man einen Strom warmer Luft auf den Film leitet, wodurch annehmbare optische Fenster erzeugt werden.

Fig. 9 zeigt ein DRUM-Kubusstrahldeflektorelement 90, das seine Ecken und Kanten derart abgeschrägt besitzt, daß die Kubusoberflächen enger an ein kreisförmiges Apertur- oder Öffnungsprofil angepaßt sind, wodurch nicht erforderliches Material vom Deflektorelement entfernt wird, während dessen aerodynamische Form verbessert wird.

Die Fig. 10 und 11 zeigen eine DRUM-Kubusstrahldeflektoranordnung 92, die ein zylindrisch geformtes Gehäuse 94 und eine Befestigungsabnenanordnung 96 aufweist, um das Kubusdeflektorelement 98 zum Schließen, und um dadurch in signifikanter Weise den Abtaststrahlpositionierungsfehler zu reduzieren, der durch die vom Deflektor hervorgerufene Luftturbulenz in dem Abtaststrahlpfad zustandekommt. Das Deflektorelementumschließungsgehäuse 94 besitzt eine zylindrische Seitenwand 100 mit einer Öffnung 102, durch die der Ausgangsabtaststrahl läuft, ferner ist ein Ausgangsfenster 104 vorgesehen, um in aerodynamischer Weise die Seitenwandöffnung abzudichten, und schließlich ist eine obere Platte 106 vorhanden, die in eine Öffnung besitzt, durch welche der einfallende Strahl läuft. Die obere Platte 106 des Deflektorelementumschließungsgehäuses 94 kontaktiert die obere Oberfläche (Oberseite) des Kubusdeflektorelements und dichtet die Eintrittsöffnung 108 an ihrem Umfang ab. Die Zylinderseitenwand 100 des Deflektorelementumschließungsgehäuses paßt in einen verminderten Durchmesser aufweisenden Stufenteil 110 der Befestigungsabnenanordnung und vervollständigt dadurch die Abdichtung des Kubusdeflektorelements innerhalb des Umschließungsgehäuses 94.

Das Ausgangsfenster 104 kann entweder eine dünne Glasplatte sein oder aber ein dünner Kunststoffilm, der dem Zylinderseitenwandaußenradius angepaßt ist, wie dies in Verbindung mit Fig. 8 diskutiert wurde. Die Anbringung des Umschließungsgehäuses an der Befestigungsabnenanordnung kann mittels Schrauben, Band oder Bindemittel erfolgen. Wie in Fig. 11 gezeigt, kann eine Kitt- oder Verbindungsverbindung 112 verwendet werden, um bei der Befestigung des Deflektorelements innerhalb des Umschließungsgehäuses zu helfen. Diese Verkittungsverbindung ist nur in den Eckzonen des Kubus verwendet gezeigt, weil diese Anordnung die Menge (Masse) der Kittverbindung minimiert, wobei im wesentlichen die Rotationssymmetrie der Deflektoranordnung bezüglich der Deflektorrotationsachse aufrechterhalten bleibt. Sie kann das Gehäuse ausfüllen mit Ausnahme des nahe dem Ausgangsfenster gelegenen Sektors.

Das Umschließungsgehäuse 94 kann entweder beispielsweise durch Werkzeugmaschinen bearbeitet sein oder aber es kann ausgeformt sein als ein einziger Teil,



der dann über das Prismendeflektorelement gezogen wird und mit der Befestigungsnahe 96 zusammenpaßt. Dieses einteilige Umschließungsgehäuse kann auch eine Wanddicke besitzen, die ungefähr ein Drittel der in Fig. 11 gezeigten Wanddicke ist, um so jedwedes Ungleichgewicht zu reduzieren, das mit der Umschließungsseitenwandöffnung 102 assoziiert ist, um auf diese Weise die Leistungsfähigkeit der Deflektoranordnung bei Drehung mit hoher Drehzahl zu verbessern.

Die Fig. 12 und 13 zeigen eine DRUM-Kubusdeflektoranordnung, die ein Umschließungsgehäuse 120 aufweist, das drehmäßig massensymmetrisch bezüglich der Deflektordrehachse 122 ist. Diese Massensymmetrie wird dadurch erreicht, daß man einen zweiten Öffnungsanschluß 124 mit Abdeckfenstern 126 in der Umschließungsseitenwand vorsieht. Dieser zweite Öffnungsanschluß mit Fenster ist im wesentlichen identisch zu dem Abtaststrahlauslaß oder -anschluß 128 und dem Fenster 130 und ist entgegengesetzt dazu positioniert, wodurch entweder das Fehlen von Masse assoziiert mit dem Ausgangsfenster 130 und dem Anschlußfenster 128 ausgeglichen wird.

Das Kubusdeflektorelement in den Fig. 12 und 13 weist zwei 45° rechtwinklige Prismenelemente 134 und 136 auf, die im wesentlichen identisch sind mit Ausnahme des Materials, welches zur Herstellung der Prismenelemente verwendet wird. Das Prismenelement 134 besitzt einen Brechungsindex  $N_1$ , wohingegen das Prismenelement 136 einen Brechungsindex  $N_2$  besitzt, wobei ferner  $N_1 > N_2$  gilt.

Mit Ausnahme des Brechungsindexunterschieds zwischen den Prismenelementen 134 und 136 sind alle anderen Herstellungsdetails des Kubusdeflektorelements in den Fig. 12 und 13 die gleichen, wie sie für das Kubusdeflektorelement in Fig. 2 beschrieben wurden. Der einfallende Strahl verläuft parallel zur Deflektordrehachse 122 vor dem Eintreten in die Oberseite des Kubusdeflektorelements 132. Nach dem Eintreten in den Deflektor pflanzt sich der einfallende Strahl zu der partiell reflektierenden Oberfläche 138 fort, die den einfallenden Strahl in gleicher Weise in reflektierte und durchgelassene Strahlen aufteilt. Der reflektierte Strahl pflanzt sich nach hinten fort zur der schwarz angestrichenen Oberfläche 140 des Deflektorelements und wird praktisch total absorbiert. Wenn der durchgelassene Strahl sich von dem  $N_1$ -Prismenelement 134 in das  $N_2$ -Prismenelement 136 fortpflanzt, wird der Strahl derart abgelenkt oder gebogen, daß er sich mit einem etwas größeren Winkel bezüglich der Senkrechten der Strahlteileroberfläche 138 fortpflanzt. Diese geringfügige Erhöhung des Strahlfortpflanzungswinkels bewirkt, daß der übertragene Strahl unter einem geringen Winkel bezüglich sowohl der Deflektordrehachse 122 als auch der Bodenspiegelreflektionsoberfläche 140 des Deflektorelements 132 verläuft, die senkrecht zur Drehachse verläuft. Der retroreflektierte Strahl von der Bodenspiegelreflexionsoberfläche verläuft in gleicher Weise unter einem Winkel bezüglich der Deflektorrotation. Der Ausgangsabtaststrahl ist daher nicht senkrecht zu der Deflektordrehachse. Der durchgelassene retroreflektierte Strahl wird weiter gegenüber der Parallelen zur Rotationsdrehachse abgelenkt, wenn er sich von dem  $N_2$ - zu dem  $N_1$ -Prisma fortpflanzt und dann aus dem Deflektorelement 132 austritt. Wenn diese DRUM-Kubusstrahldeflektoranordnung mit Dualbrechungsindex erreicht den nicht senkrechten Abtaststrahlzustand der Fig. 4 und den nicht parallel übertragenen retroreflektierten Strahlzustand der Fig. 3 und 4 ohne daß die Not-

wendigkeit besteht, zusätzliche Glas- oder Metallkeilglieder vorzusehen.

Die Prismenelementmaterialien können derart ausgewählt werden, daß das DRUM-Kubusstrahldeflektorelement 132 sowohl eine Dualbrechungsindexeigenschaft als auch eine Rotationsmassensymmetrie bezüglich der Deflektordrehachse besitzt. Die folgenden beiden Beispiele basieren auf Daten erhalten aus dem Schott Glas Katalog und sie zeigen, daß Materialien für die  $N_1$ - und  $N_2$ -Prismen ausgewählt werden können, die relativ große Differenzen hinsichtlich ihrer Brechungsindizes haben, während sie im wesentlichen die gleichen Dichten aufweisen: BaLF4 und SFL14 besitzen beide eine Dichte von annähernd 3,17 g/cm<sup>3</sup>, während ihre entsprechenden Brechungsindizes 1,577 bzw. 1,754 für  $\lambda = 0,5328 \mu\text{m}$  sind; SK13 und SFL6 haben beide eine Dichte von annähernd 3,37 g/cm<sup>3</sup> während ihre entsprechenden Brechungsindizes 1,589 und 1,799 für  $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$  sind.

Das Kubusstrahldeflektorelement 132 ist gemäß der Darstellung an einer Befestigungspatrone 142 angebracht, die an der Oberseite der Befestigungsnaheanordnung durch zwei Schrauben 144 angebracht ist. Diese mechanische Anbringung der Befestigungsplatte kann bevorzugt sein gegenüber einer direkten Anbringung des Deflektorelements an der Befestigungsnaheanordnung mit einem Bindemittel, insbesondere da diese Befestigungsplattenanordnung Einstellungen bei der Positionierung des Deflektorelements 132 auf der Befestigungsnahe/Motoranordnung 150 gestattet, was den dynamischen Ausgleich der gesamten Deflektoranordnung erleichtert.

Die Befestigungsplatte 142 kann die Nicht-Flachheit und/oder die Beanspruchung eingeführt in die Bodendeflektorelementoberfläche 140 vermindern, die hier mit dem Verbinden (durch Bindemittel) des Deflektors mit der Befestigungsnaheanordnung auftritt. Die Befestigungsplatte 144 kann aus Kunststoff bestehen, kann aber auch aus Metall, Glas oder Keramikmaterialien hergestellt sein.

In den Fig. 14 und 15 ist eine DRUM-Kubusdeflektoranordnung 160 gezeigt, die eine total transparente zylindrische "Windschutzscheiben"-Kappe 162 zeigt, welche das Kubusdeflektorelement 164 auf allen Seiten umgibt, mit Ausnahme an der Befestigungsnaheanordnung 166. Da diese transparente Kappe keine Strahlöffnungen (Anschlüsse) benötigt, ist sie total rotationsmassensymmetrisch bezüglich der Deflektordrehachse. Die transparente Umschließungsschutzscheibe oder das Gehäuse 162 kann präzisionsgeformt aus Kunststoff mit optischer Qualität sein, wodurch es ermöglicht wird, daß diese Umschließung in Bildanwendungsfällen mit hoher Auflösung eingesetzt wird.

Das transparent zylindrische Windschutzscheibengehäuse 162 kann auch astigmatismuskorrigiert sein, der durch die Ausgangsabtastwellenfront eingeführt wird, und zwar durch die negative zylindrische Fokussierkraft, die mit einem zylindrisch gekrümmten Ausgangsfenster assoziiert wird, wie man dies durch Gleichung (3) berechnen kann. Dies kann dadurch erreicht werden, daß man die transparente Umschließung 162 derart auslegt, daß im Gebiet die Umschließung, die als Ausgangsfensterapertur dient, der Krümmungsmittelpunkt der Außenumschließungsoberfläche auf der Deflektordrehachse zentriert ist, während der Krümmungsmittelpunkt der inneren Außenumschließungsoberfläche an einem unterschiedlichen Punkt angeordnet ist. Dieser innere Krümmungsmittelpunkt kann auf einer Linie angeord-

net sein, welche für die Mitte der Ausgangsfensterapertur und die Deflektordrehachse halbiert, und zwar an einem Punkt, der größer ist als der Abstand entlang der Linie zu der Deflektordrehachse. Da der Krümmungsmittelpunkt für die innere Umschließungsoberfläche mit dem Abstand von der Drehachsenposition ansteigt, wird die zylindrische Fokussierkraft des Ausgangsfensters fortlaufend von negativen Werten aus nach Null vermindert, um dann fortlaufend zu größeren positiven Werten hin anzusteigen.

Durch Positionierung des Krümmungsmittelpunktes für die innere Umschließungsoberfläche kann man nicht nur die zylindrische Fokussierkraft, die mit den gekrümmten Ausgangsfenstern einhergeht, korrigieren, sondern auch die zylindrische Kraft, die in Deflektorelementen erzeugt wird durch eine Deflektorelementoberflächenverformung hervorgerufen durch die Zentrifugalkraft. Diese Art einer Oberflächenverformung tritt an der vorderen Ausgangsoberfläche eines DRUM-Kubusdeflektorelements auf und bewirkt, daß diese Oberfläche eine negative zylindrische Linse wird. Diese Art einer Oberflächenverformung tritt an der hinteren Spiegelreflektoroberfläche der Deflektoranordnung gemäß Fig. 7 auf und bewirkt, daß die Oberfläche ein konvexer zylindrischer Spiegel wird. Das transparente zylindrische Umschließungsgehäuse 162 kann derart geformt sein, daß die nicht-symmetrische durch Zentrifugalkraft hervorgerufene Oberflächenflächenverformung in dem Strahlteilerdeflektor in einer DRUM-Deflektoranordnung korrigiert wird, und zwar insbesondere bei sehr hohen Drehzahlen.

In den Fig. 16 und 17 ist eine zylindrisch geformte DRUM-Strahldeflektoranordnung 170 gezeigt, die aus zwei im wesentlichen identischen zylindrisch geformten 45° rechtwinkligen Prismen 172 und 174 aufgebaut ist, die eine DRUM-Strahldeflektoranordnung mit aerodynamischen Plattenprisma bilden, ohne eine gesonderte Deflektorumschließungsstruktur zu verwenden. Bei diesem Deflektor wird ein kollimierter einfallender Strahl kollinear mit der Deflektordrehachse 176. In der sagittalen (In-Abtastung) Ebene ist dieser Strahl durch eine positive Zylinderlinse 178 fokussiert, die optisch an die Oberseite des Deflektorelements durch Bindemittel angebracht ist. Diese Zylinderlinse fokussiert den Strahl auf einen ersten Bildpunkt, der einen kurzen Abstand gegenüber der unteren schwarz absorbierten Oberfläche 180 des Deflektorelements angeordnet ist und die Fokussierung erfolgt ferner an einem zweiten Bildpunkt, der ebenfalls mit einem entsprechenden kurzen Abstand vor der hinteren zylindrischen Spiegelreflexionsoberfläche 182 des Deflektorelements angeordnet ist. Die Position des zweiten Bildpunktes wird derart gewählt, daß der retroreflektierte Strahl von der konkaven zylindrischen Spiegelreflexionsoberfläche 182 divergierend von einem virtuellen Punktbild erscheint, und zwar angeordnet an der Position des Brennpunktes, der mit der zylindrischen Linsenausgangsoberfläche des Deflektorelements assoziiert ist. Für diese Deflektorsystemabbildparameter wird der Ausgangsabtaststrahl in der Sagittalebene kollimiert, wie dies in der Draufsicht der Deflektoranordnung 170 Fig. 18 dargestellt ist.

Der in den Fig. 17 und 18 gezeigte kollimierte einfallende Strahl in der tangentialen (Querabtast)-Ebene der Deflektoranordnung wird durch die Zylinderlinse nicht beeinflusst und pflanzt sich als ein kollimierter Strahl zu der Strahlteilerdeflektoroberfläche 175 fort, die diesen Strahl gleichmäßig in einem reflektierten und einen durchgelassenen Strahl aufteilt. Der durchgelassene

Strahl wird praktisch durch die untere schwarze Absorptionsoberfläche 180 des Deflektorelements total absorbiert, während der reflektierte Strahl sich nach hinten zur Spiegelreflexionsoberfläche 182 des Deflektorelements fortpflanzt. In der Tangentialebene erscheint diese Spiegelreflexionsoberfläche als ein flacher Reflektor und daher wird das retroreflektierte Tangentialstrahlprofil von der Spiegeloberfläche kollimiert. Annähernd die Hälfte dieses kollimierten Strahls pflanzt sich zu der vorderen Ausgangsoberfläche des Deflektorelements fort, die auch als eine ebene Oberfläche in der Tangentialebene erscheint und daher wird der Ausgangsabtaststrahl in dieser Ebene ebenfalls kollimiert. Ein kollimierter einfallender Strahl tritt aus beiden Ebenen von diesem zylindrisch geformten Deflektor als ein kollimierter Strahl aus. Wie in Fig. 19 gezeigt, ist diese Deflektoranordnung rotationsmäßig massensymmetrisch bezüglich der Deflektorrotationsachse, die Anordnung besitzt eine gute aerodynamische Form und die Spiegelreflexionsoberfläche und die Deflektorausgangsoberfläche sind praktisch invariant bezüglich der durch die Zentrifugalkraft hervorgerufenen Oberflächenverformung, und zwar infolge ihrer zylindrischen Form.

Fig. 19 zeigt eine halbzyklindrisch geformte DRUM-Strahldeflektoranordnung. Die Fig. 19 ist beispielhaft für die Veränderungsmöglichkeiten hinsichtlich der Form, daß die auf einem Prisma basierende DRUM-Strahldeflektoranordnung einnehmen kann. Sämtliche optischen Oberflächen, die zu dem Ausgangsabtaststrahl in der in Fig. 19 gezeigten Deflektoranordnung beitragen, sind flach und daher wird ein einfallender kollimierter Strahl als ein kollimierter Abtaststrahl austreten, ohne daß zusätzliche Linsenelemente erforderlich sind.

Fig. 20 zeigt eine DRUM-Strahldeflektoranordnung, die aus einem gesonderten räumlichen (spatialen) Strahlteiler 190 und Spiegel-192-Elementen besteht, ähnlich der Deflektoranordnung der Fig. 8. Diese Deflektoranordnung unterscheidet sich von der gemäß Fig. 8 und all den anderen zuvor beschriebenen DRUM-Strahldeflektoranordnungen dadurch, daß ein räumlicher Strahlteiler 190 verwendet wird, und zwar anstelle der partialreflektierenden Strahlamplitudenteileroberflächen, die in den zuvor beschriebenen DRUM-Strahldeflektoranordnungen verwendet wurden.

Der einfallende Strahl 194 ist kollinear mit der Deflektordrehachse 196 und trifft auf eine sphärische Linse 198 auf, die auf der Drehachse vor der Deflektoranordnung zentriert ist. Diese Linse fokussiert den einfallenden Strahl auf einen Bildpunkt auf der Deflektordrehachse der näher an der Reflexionsoberfläche 199 des räumlichen Strahlteilerelements 190 liegt. Das räumliche Strahlteilerdeflektorelement besteht aus einer hochflekktierenden Spiegeloberfläche 199, die in ihrer Mitte ein kleines Loch 200 besitzt. Dieses Loch ist auf der Deflektorrotationsachse angeordnet, wodurch es ermöglicht wird, daß praktisch 100% (einhundert Prozent) des fokussierten einfallenden Strahls durch das Loch laufen. Der durchgelassene Strahl von dem Strahlteilerspiegel expandiert schnell in seiner Größe, wenn er sich zu dem flachen Spiegel 192 hin fortpflanzt, der am Boden des umschlossenen Deflektorhohlraums angeordnet ist.

Der retroreflektierte Strahl von dem Bodenspiegel-element 192 setzt die Expansion in seiner Größe fort, während er sich zurück zu dem Strahlteilerspiegel 199 fortpflanzt. Wenn der retroreflektierte Strahl den Teil-

lerspiegel erreicht, so ist seine Größe wesentlich größer als die kleine Mittelöffnung 200 in der Teilerspiegeloberfläche und daher wird im wesentlichen die gesamte Energie des retroreflektierten Strahls durch diesen Teilerspiegel in der Richtung zum Ausgangsabtaststrahl zurückgeleitet. Nach dem Hindurchlaufen durch das Deflektorausgangsfenster 202 fällt der Ausgangsabtaststrahl auf eine F-Theta-Abtastlinse 204, die derart ausgelegt ist, daß sie den divergierenden Abtaststrahl auf eine ein flaches Feld bildende Bildebene fokussiert. Dieser divergierende Abtaststrahl scheint von einer gekrümmten Objektebene herzukommen, und zwar zentriert auf der Deflektordrehachse 196 und angeordnet an dem angegebenen virtuellen Bildpunkt 206.

Der eingeschlossene Winkel zwischen dem räumlichen Strahlteilerspiegel 199 und dem Bodenspiegelement 192 beträgt 45°, wie dies durch den Abtaststrahl angedeutet ist, der senkrecht zu der Deflektordrehachse verläuft. Die Abtaststrahlnachführ- oder Tracking-Eigenschaft für diese Deflektoranordnung ist die gleiche, wie die, die erreicht wird mit den DRUM-Strahldeflektoranordnungen, die Strahlamplitudenteileroberflächen verwenden. Der Hauptvorteil dieser Deflektoranordnung besteht darin, daß man praktisch 100% radiometrische Durchsatzeffizienz oder Wirkungsgrad erreichen kann, während noch immer im wesentlichen Unempfindlichkeit besteht gegenüber Änderungen des Polarisationszustandes des einfallenden Strahls, gegenüber Wellenfrontdivergenz, Einfallswinkel und Betriebswellenlänge. Diese Deflektorkonfiguration ist sehr nahe daran, rotationsmassensymmetrisch zu sein und besitzt ein aerodynamisches glattes Profil, wenn das Deflektorgehäuse zylindrisch geformt ist. Der optische Spiegelüberzug des Strahlteilers 190 kann ein eine breite spektrale Bandbreite aufweisender Metallfilm oder ein Metaldielektrikumhybridfilm sein, und zwar für die meisten Abbildanwendungsfälle. Solche Spiegelüberzüge sind weniger empfindlich gegenüber Änderungen des Strahlpolarisationszustandes, der Wellenfrontdivergenz und der Betriebswellenlänge, als dies bei gewöhnlichen Mehrschichtdielektrikumsspiegeln der Fall ist. Das Mittelloch in dem Teilerspiegel kann dadurch hergestellt werden, daß man eine kleine entfernbare Blockiermaske auf dem Spiegelsubstrat anordnet, bevor man den Spiegelreflexionsüberzug abscheidet. Dieses Mittelloch kann im Spiegelüberzug auch dadurch erzeugt werden, daß man, nachdem dieser Überzug auf dem Spiegelsubstrat abgeschieden wurde, photorestit Ätzverfahren eingesetzt werden. Es kann zweckmäßig sein, bei Anwendungen mit sehr hoher Laserleistung und/oder UV-Laserabbildanwendungen körperlich ein sehr kleines Mittelloch zu erzeugen, und zwar durch sowohl den Spiegelüberzug als auch das Spiegelsubstrat, wodurch die mögliche Gefahr vermieden wird, die damit in Verbindung steht, daß durch die Laserenergie ein Schwärzen (Solarisation) und/oder ein Zertrümmern des Spiegelsubstrats auftritt.

Fig. 21 zeigt eine DRUM-Kubusstrahldeflektoranordnung 230, die eine räumliche Strahlteileroberfläche 232 umfaßt, um praktisch 100% radiometrischen Durchsatzwirkungsgrad zu erzielen. Der einfallende Strahl bei dieser Deflektorkonfiguration verläuft kollinear mit der Deflektordrehachse 234 und trifft auf eine sphärische Linse 236 zentriert auf der Drehachse vor der Deflektoranordnung 230. Diese Linse fokussiert dem einfallenden Strahl auf einen Bildpunkt auf der Deflektordrehachse, der unmittelbar vor der Strahlteilerreflexionsoberfläche 232 in dem Kubusdeflektorelement angeord-

net ist. Die räumliche Strahlteileroberfläche dieser Deflektoranordnung besteht aus einer transparenten Oberfläche mit einem kleinen Spiegelreflektor 233 angeordnet an ihrer Mitte. Dieser kleine Spiegelreflektor 233 ist auf der Deflektordrehachse angeordnet, wodurch es ermöglicht wird, daß praktisch 100% des fokussierten einfallenden Strahls in einer Richtung reflektiert werden, die senkrecht zur Deflektordrehachse verläuft. Dieser reflektierte Strahl von dem Strahlteilerspiegel expandiert schnell in seiner Größe, während er zum und durch die hintere Deflektorelementoberfläche sich fortpflanzt und auf einen dicken zweiten auf der zweiten Oberfläche konkaven sphärischen Spiegel 234 auftrifft, der die Form eines Mangin-Spiegels hat. Dieser Mangin-Spiegel ist in einer Durchtrittsöffnung 236 in der Seitenwand der zylindrisch geformten Deflektorgehäuses angeordnet und ist winkelmäßig derart orientiert, daß der zentrale einfallende Strahl in eine Richtung senkrecht zu der Deflektordrehachse retroreflektiert wird.

Der retroreflektierte Strahl von dem Mangin-Spiegel 234 setzt seine Expansion in Größe fort, während er sich nach hinten zu der Strahlteileroberfläche fortpflanzt. Wenn der retroreflektierte Strahl die Teileroberfläche erreicht, ist seine Größe wesentlich größer als der kleine mittige Spiegelreflektor auf der transparenten Teileroberfläche und daher wird im wesentlichen die gesamte retroreflektierte Strahlenergie durch die Teileroberfläche 232 übertragen oder durchgelassen. Nach dem Durchgang durch die Ausgangsoberfläche 238 des Kubusdeflektorelements trifft der retroreflektierte übertragene Strahl auf eine einzige sphärische Fokussierlinse 240 auf, die in einer Durchlaßöffnung 242 in der Seitenwand des zylindrisch geformten Deflektorgehäuses angeordnet ist. Diese Fokussierlinse bildet den Ausgangsabtaststrahl auf einen Punkt ab, der auf einer internen Trommelabbildoberfläche (nicht gezeigt) angeordnet ist. Die optischen Abbaueigenschaften des Mangin-Spiegels 234 sind derart gewählt, daß der fokussierte einfallende Strahl in ein virtuelles Bild 242 abgebildet wird, und zwar angeordnet annähernd zwei Deflektoranordnungsdurchmesser hinter dem Mangin-Spiegel. Da sich sowohl der Mangin-Spiegel als auch die Fokussierlinse mit der Deflektoreinheit drehen, werden sie nur auf ihren optischen Achsen benutzt und daher wird die Wellenfrontqualität des optischen Abtaststrahls nur durch die kombinierte sphärische Aberration dieser optischen Elemente bestimmt. Es ist zweckmäßig, die Parameter des Mangin-Spiegels 234 und insbesondere der Fokussierlinse 240 derart zu bestimmen, daß die mit diesen Komponenten zusammenhängenden Aberrationen im wesentlichen gleich und von entgegengesetzten Vorzeichen sind.

Der mittige kleine Spiegelreflektor 233 auf der Strahlteileroberfläche 232 kann dadurch erzeugt werden, daß man den reflektierenden Überzug durch eine Kontaktmaske auf einer der Prismenelementoberflächen abscheidet, und zwar vor dem Zusammenverbinden der Prismen 244 und 246 durch ein Bindemittel. Dieser kleine Spiegelreflektor 233 kann dadurch erzeugt werden, daß man einen reflektierenden Überzug auf der Prismenelementoberfläche abscheidet und Photoresistätzverfahren entfernt, um alles mit Ausnahme des erwünschten reflektierenden Films von dieser Oberfläche zu entfernen, und zwar vor der durch Bindemittel erfolgenden Verbindung der Prismenelemente.

In den Fig. 22 und 23 ist ein DRUM-Deflektorsystem gezeigt, das eine Laserwellenlänge  $k_1$  verwendet, um

Bilder auf einer internen Trommeloberfläche aufzuzeichnen, und das eine zweite Laserwellenlänge  $\lambda_2$  verwendet, um die Winkeldrehposition des Deflektorelements 250 zu verfolgen. Dieses System korrigiert bei der Abtastung Strahlzitterfehler, welche direkt proportional sind zur Änderung der "In Abtastung"-Komponente des Deflektorwobbelns.

Das Wellencodierabfühlen dieses Fehlers ist zur Kompensation des Motornachlaufs, der mit dem "In Abtastung"-Strahlpositionsfehler zusammenhängt, brauchbar, korrigiert aber nicht das "In Abtastung"-Zittern, welches mit Änderungen des Deflektorelementwobbelwinkels zusammenhängt und üblicherweise wird nicht eine hinreichende Auflösung vorgesehen, und das bei der Abtastung auftretende Zittern zu korrigieren, welches auf Unregelmäßigkeiten beim Lager und der Lagerbahn zurückzuführen ist, und zwar bei Deflektoreinheiten, die durch Kugellager angeordnet sind. Einige eine hohe Auflösung besitzende Flachfeldlaserabtastsysteme verwenden einen Pixelgittertakt zur dynamischen Messung der Strahlposition beim Abtasten, und zwar an vielen Punkten über das Abtastfeld hinweg (vgl. US-PS 46 95 772) und sehen dadurch eine Korrektur des beim Abtasten auftretenden Zitterfehlers vor, der hervorgerufen wird durch das Motornachlaufen, Änderungen beim Deflektorelementwobbeln, Motorlagerunregelmäßigkeiten und dem Abtastlinearitätsfehler, der mit der F-Theta-Abtastlinse zusammenhängt. Der Einbau eines Pixelgittertakt- oder -clocksystems in ein Bildaufzeichnungssystem der Flachfeldbauart wird normalerweise dadurch erreicht, daß man einen zweiten nicht-intensitätsmodulierten Strahl verwendet, der auf die Strahlabtastfacette einfällt, und zwar mit einem etwas unterschiedlichen Abtastwinkel bei der Abtastung, und zwar unterschiedlich von dem des Bildaufzeichnungsstrahls. Der abgelenkte nicht modulierte Nachführ- oder Verfolgungsstrahl pflanzt sich durch die F-Theta-Abtastlinse fort, und zwar mit einem Abtastwinkel bei der Abtastung relativ zum Aufzeichnungsstrahl und der Nachführstrahl wird blockiert gegenüber einem Auftreffen auf der Aufzeichnungsebene durch ein flaches Spiegelement, das üblicherweise mit ungefähr 70% des Abstandes zwischen der Abtastlinse und der Aufzeichnungsebene angeordnet ist. Der nicht-modulierte Nachführ- oder Verfolgungsstrahl wird durch den Blockierspiegel zurückgeleitet, und zwar zu einem flachen Amplitudengitterelement mit einer relativ niedrigen Auflösung (annähernd zehn Linien oder Zeilen pro Millimeter), welches an der Brennebene der Abtastlinse angeordnet ist. Nach dem Durchtritt durch das Gitterelement wird der codierte Nachführstrahl zu einem Photodetektor geleitet. Die Signale von dem Photodetektor werden dazu verwendet, um die Aufzeichnungsabtaststrahlpixeltaktrate für Strahlpositionsfehler bei der Abtastung zu kompensieren.

Der Einbau eines Pixelgittertaktsystems in ein Bildsystem erhöht die Kompliziertheit und die Kosten des Systems und macht es auch erforderlich, daß zusätzliche optische Komponenten in der Nähe der Bildaufzeichnungsebene angeordnet werden. Dieses letztgenannte Erfordernis verbietet die Verwendung des Pixelgittertaktsystems bei Abbildanwendungsfällen mit interner Trommel. Der Einbau eines Pixelgittertakt- oder Blocksystems wurde erreicht bei Galvanometerdeflektorsystemen unter Verwendung einer zweiseitigen Facette, wobei die Vorderseite dazu verwendet wird, um den Aufzeichnungsstrahl zu tasten oder abzutasten, während der nicht-modulierte Nachführ- oder Verfolgungs-

strahl von der Rückseite der Facette reflektiert oder abgelenkt wird.

Der einfallende Aufzeichnungsstrahl in Fig. 22 besitzt eine Wellenlänge von  $\lambda_1$ . Der nicht-modulierte Nachführtakt- oder -clockstrahl hat eine Wellenlänge  $\lambda_2$ .  $\lambda_1$  kann innerhalb des Bereichs von 0,416 bis 0,68  $\mu\text{m}$  liegen, und zwar für die Aufzeichnung von Bildern auf Silberhalogenid basierenden photoempfindlichen Materialien, wohingegen  $\lambda_2$  größer als 0,8  $\mu\text{m}$  sein kann, um das Risiko der Belichtung des Bildmediums durch den Nachführstrahl zu minimieren. In den Fig. 23 und 24 sind die folgenden Elemente nicht gezeigt: die Aufzeichnungsstrahlaserquelle, die Strahlerweiterungs- und Kollimationsoptikmittel, die vor dem Deflektor angeordnete Fokussierlinse und die Trommelbildaufzeichnungsoberfläche.

Der einfallende Aufzeichnungsstrahl pflanzt sich gemäß Fig. 23 parallel zur Deflektordrehachse fort, und zwar vor und nach der Fortpflanzung durch dichroische Strahlkombiniermittel 252. Der einfallende Nachführstrahl wird parallel zur Drehachse 254 reflektiert, und zwar durch dichroische Strahlkombiniermittel 252. Lediglich aus Gründen der Klarheit bei der Darstellung ist ein einziger einfallender Aufzeichnungs- und Nachführstrahlungsstrahl in Fig. 23 dargestellt. Diese einfallenden Strahlen sind beide kollinear zur Deflektordrehachse 254 vor dem Eintritt in den dichroischen Strahlteilerkubusdeflektor 250.

Der dichroische Strahlteiler 257 und die Strahlkombiniermittelelemente 252 sind optisch beschichtet, damit sie unterschiedliche Reflexions- und Transmissionseigenschaften für unterschiedliche einfallende Wellenlängen besitzen. Die dichroischen Strahlkombiniermittel 252 sind derart beschichtet, daß sie praktisch 100% des einfallenden  $\lambda_1$ -Strahls übertragen, während sie praktisch 100% des  $\lambda_2$  Strahls reflektieren. Die dichroische Strahlteileroberfläche 257 in dem DRUM-Kubusdeflektorelement 250 ist ebenfalls beschichtet und praktisch 100% des einfallenden  $\lambda_2$ -Strahls zu reflektieren, während der einfallende  $\lambda_1$ -Strahl gleichmäßig in reflektierte und durchgelassene Strahlen geteilt wird. Diese dichroische Strahlteileroberfläche 254 besitzt erwünschterweise ziemlich kleine Unterschiede hinsichtlich der Leistungsfähigkeit für S- und P-Polarisationen, und zwar für beide einfallenden Strahlwellenlängen, obwohl dieses Erfordernis weniger wichtig bezüglich des  $\lambda_2$  Strahls ist.

Die Abtaststrahlabbildungseigenschaften des DRUM-Deflektorelements 250 für den  $\lambda_1$ -Strahl sind wesentlich, wie dies zuvor (vgl. Fig. 14 und 15) beschrieben wurde, mit der Ausnahme, daß der reflektierte Strahl von der Teileroberfläche nicht durch eine schwarz gemalte Oberfläche absorbiert wird. Die hintere Oberfläche 158 des Kubusdeflektorelements 250 ist optisch beschichtet, um die Reflektivität dieser Oberfläche für die beiden  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ -Strahlen zu minimieren. Die von der dichroischen Strahlteileroberfläche 257 zurückabgelenkten  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ -Strahlen treten durch die Rückseite 258 der Ablenk- der Deflektoranordnung aus und werden mit der gleichen Winkelrate oder Geschwindigkeit getastet, die der Ausgangs-  $\lambda_1$ -Abtaststrahl erfährt. Sowohl die Kreuzabtastung (cross-scan) als auch die Abtastung ("inscan") Strahlnachführleistungsfähigkeit für diese zurückdeflektierten oder abgelenkten Strahlen sind empfindlich gegenüber Änderungen des Deflektorwobbelwinkels.

Die zurückabgelenkten Abtaststrahlen fallen auf einem sphärischen konkaven Spiegel 264, der diese Strah-

len auf einen Photodetektor 260 fokussiert. Ein Wellenlängenblockierfilter 262 ist vor dem Photodetektor 260 positioniert und stoppt oder hält ab den  $\lambda_1$ -Strahl, wohingegen praktisch 100% des  $\lambda_2$ -Strahls durchgelassen werden, wodurch das Signal zu Rauschverhältnis des  $\lambda_2$ -Strahls verbessert wird. An der vorderen Reflexionsoberfläche des sphärischen konkaven Spiegelements 264 ist ein transparenter Film oder eine Schicht vorgesehen, die ein Amplitudengitter 266 mit relativ niedriger Auflösung (annähernd zehn Linien pro Millimeter) besitzt.

Durch Einstellen des Abstandes des  $\lambda_2$ -Diodenlasers 272 und der Kollimationslinse 270 kann der zurückabgelenkte  $\lambda_2$ -Strahl auf die vordere Oberfläche 266 des sphärischen Konkavspiegels 264, wie dies in Fig. 23 gezeigt ist, fokussiert werden. Der Krümmungsmittelpunkt des sphärischen Spiegels 264 ist auf der Deflektordrehachse 254 angeordnet. Der  $\lambda_2$ -Strahl bleibt auf die sphärische Spiegeloberfläche 266 fokussiert, während er längs der Spiegeloberfläche 266 tastet. Unter diesen Abbildbedingungen wird der zurückabgelenkte  $\lambda_2$ -Strahl nach der Reflexion vom sphärischen Spiegel 264 amplitudenmoduliert, und zwar bei einer Frequenz, die direkt proportional ist zum Dreh- oder Rotationswinkel des Deflektorelements 250.

Das gesamte vom sphärischen Spiegel reflektierte Abtastlicht kann durch den Photodetektor 260 detektiert werden, der eine Größe besitzt, die nur etwas größer ist als der Durchmesser, den der  $\lambda_2$ -Strahl an der Deflektorstrahlteileroberfläche 257 besitzt, wenn der Photodetektor an dem Punkt positioniert ist, wo der sphärische Spiegel ein Bild dieser Deflektoroberfläche bildet. Dieser konjugierte Bildpunkt ist annähernd mit einem Abstand gleich dem Krümmungsradius des sphärischen Spiegels 264 angeordnet.

Der zurückabgelenkte oder defektierte  $\lambda_2$ -Strahl wird auf die Oberfläche des sphärischen Konkavspiegels fokussiert und daher kann dieser Spiegel durch einen zylindrischen konkaven Spiegel ersetzt werden, der den gleichen Krümmungsradius besitzt, wie der sphärische Spiegel ohne dadurch in signifikanter Weise die Abbildungseigenschaften des  $\lambda_2$ -Strahls zu ändern. Ein Vorteil der Verwendung eines zylindrischen Spiegels besteht darin, daß es leichter ist, daß Film- oder Schichtgitterelement an einer zylindrischen Oberfläche als an einer sphärischen Oberfläche anzubringen. Das Filmgitterelement kann auch auf einem Film durch geformten transparenten Fensterelement angebracht werden, das entweder vor oder hinter dem konkaven Spiegel positioniert ist. Dieses zylindrische Fensterelement kann ebenfalls als ein Wellenlängenblockierfilter dienen.

Das Wellenlängenblockierfilter könnte ohne weiteres auf der Rückseite des Ablenk- oder Deflektorelements angeordnet sein, wenn es aus 1- bis 2Tausendstel Zoll dickem Kunststofffilm besteht, und zwar mit einem innerhalb des Films aufgelösten Farbagens. Solche Farbtransparentfilmarten sind kommerziell erhältlich, und zwar für photographische und bestimmte Beleuchtungsanwendungsfälle und man erhält sie bei der Firma Rosco in Port Chester, New York, USA. Diese Art einer Wellenlängenblockierfilteranordnung könnte auch verwendet werden anstelle der schwarz gemalten Oberfläche bei der Deflektor- oder Ablenkanordnung gemäß Fig. 2.

Obwohl der in Fig. 22 gezeigte Photodetektor der flachen Planarbauart für ein Gittertakt- oder clocksystem geeignet ist, welches bei einer Flachfeldabbildanwendung eingesetzt wird, so ist doch dieser Detektor

weniger geeignet für ein Gittertaktssystem, wie es für ein Abbildanwendungsfall mit interner Trommel verwendet wird, da die Trommelsysteme viel größere Abtastwinkel besitzen. Der Einfallswinkel des  $\lambda_2$ -Strahls auf einer flachen Photodetektoroberfläche ist gleich dem Systemabtastwinkel, der  $\pm 90^\circ$  für ein System mit interner Trommel annähert, wie dies durch das sphärische Spiegelprofil in Fig. 24 dargestellt ist.

Der für eine Abbildanwendung mit interner Trommel verwendete Photodetektor kann eine zylindrisch gekrümmte Lichtdetektoroberfläche besitzen, die dem Abtastort des Takt- oder Clockstrahls an der Photodetektorstelle entspricht. Diese Art einer gekrümmten Photodetektorstruktur kann in einer einzigen PIN-Photodiode mit kontinuierlicher Oberfläche oder einer Photovervielfachervorrichtung erreicht werden; oder aber dadurch, daß man eine gekrümmte Detektoreinheit konstruiert, und zwar aus individuell unter Winkeln angeordneten Photodetektoren; oder aber die Anordnung kann derart getroffen sein, daß man eine gekrümmte durchscheinende Abtastoberfläche vor einem einzigen flachen Photodetektor oder mehreren flachen Photodetektoren anordnet. Das Wellenlängenblockierfilter kann auch ein gekrümmtes Profil besitzen, und zwar beim Einbau in ein Gittertaktssystem, verwendet bei einer Abbildanwendung mit interner Trommel.

Der Aufzeichnungsabtastwinkel für ein System mit interner Trommel unter Verwendung eines Gittertaktsystems kann auf weniger als  $180^\circ$  begrenzt sein, damit der Takt- oder Clockstrahl jede Aufzeichnungsstrahlposition verfolgen kann. Wenn die vorgeschlagene Gittertaktkonfiguration in einem System mit interner Trommel verwendet wird, so sind der  $\lambda_2$ -Diodenlaser und seine Kollimations/Fokussierlinse, die dichroischen Strahlkombiniermittel 252, der sphärische konkave Spiegel 264 mit angebrachtem Taktgitter 266, der Wellenlängenblockierfilter 262 und das Photodetektorelement 260 sämtlich an der Gleitanordnung angebracht, die verwendet wird, um die DRUM-Deflektoreinheit 250 und eine (nicht gezeigte) vor dem Deflektor angebrachte Fokussierlinse entlang der Achse der Abbildoberfläche der internen Trommel durch Translation zu bewegen. Keines dieser Deflektorsystemelemente braucht einer Translationsbewegung unterworfen werden, wenn die Verwendung in einem Abfuhrsystem mit flachem Feld erfolgt.

Die in den Fig. 24 und 25 gezeigten NPDG-Deflektoreinheiten 1000 und 1000' sind in der Lage im wesentlichen 100% radiometrische Durchsatzeffizienz zu erreichen, wobei auch eine konstante Abtaststrahlintensität über den gesamten Bereich von Abtastwinkeln erreicht wird. Die Einheit 1000 (Fig. 24) gehört zur Bauart der Monofacetten NPDG-Deflektoren, die einzelne Übertragungsgitterfacetten 1200 und 1200' verwenden, welche unter annähernd  $45^\circ$  gegenüber der Deflektordrehachse 1400 orientiert sind. Diese Gitterfacette leitet einen einfallenden kollimierten Laserstrahl 16, der entlang der Deflektordrehachse 1400 sich fortpflanzt, der zurück, daß er aus der Deflektoreinheit austritt, und zwar als Abtaststrahl 1800' und 1800, nämlich annähernd senkrecht zur Drehachse 1400. Die Drehung der Deflektoreinheit, die insbesondere auch durch einen Motor 2000 (Fig. 27) erfolgen kann, bewirkt, daß der zurückgeleitete Strahl vom Deflektor über eine Abtastwinkel tastet, der gleich ist dem Deflektordrehwinkel.

Wie in Fig. 25 gezeigt, ist nachfolgend zum Gitter 1200' eine Einzelelementlinse 2200 angeordnet, die sich mit der Deflektoreinheit 1000' dreht, wodurch die De-



flektoreinheit in die Lage versetzt wird, Hochauflösungsbilder auf der Innenoberfläche einer Trommel zu erzeugen. Eine stationäre F-Theta-Abtastlinie kann auf die Deflektoreinheit 1000' folgen, um den Abtaststrahl von der Einheit auf einen Abtastpunkt abzubilden, der eine gerade Abtastlinie auf einer flachen Abbildoberfläche erzeugt.

Der abgelenkte oder deflektierte Abtaststrahl in Fig. 25 ist etwas gegenüber der Senkrechten zur Dehachse versetzt, so daß das retroreflektierte Spiegellicht von der internen Trommelabbildoberfläche 2400 nicht längs des einfallenden Strahls sich zurückfortpflanz und Geisterstrahlen und Laserintensitätsinstabilität hervorruft. Für die Geometrie des NPDG Deflektorsystems der Fig. 25 hat die Abtastbildpunktgröße auf der Abbildoberfläche sowohl konstante Größe als auch konstante Abtastgeschwindigkeit entlang der gesamten Bildoberfläche, da die Bildoberfläche ein Zylinder ist, dessen Achse kollinear mit der Deflektordrehachse verläuft.

Die Deflektoreinheiten in den Fig. 24 und 25 besitzen eine Viertelwellenlängenplatte 2600 und 2600', die als das Deflektoreingangsfenster dienen. Der einfallende Strahl 1000 und 1000' ist zirkularpolarisiert, und zwar unter Verwendung eines Lasers, der einen derartigen zirkularpolarisierten Strahl liefert, oder aber mit einer weiteren Viertelwellenlängenplatte, wie dies bekannt ist. Vergleiche dazu beispielsweise US-Patent 47 79 944. Aus Gründen der Darstellung ist nur ein einziger einfallender Strahl in Fig. 24 gezeigt. Vorzugsweise ist der mittige Einfallsstrahlungsstrahl für diese Deflektorgeometrie kollinear mit der Deflektordrehachse, wie dies in Fig. 25 gezeigt ist.

Jede Viertelwellenplatte 2600 und 2600' in den Fig. 24 und 27 besitzt ihre optische Achse winkelmäßig derart orientiert, daß der einfallende zirkularpolarisierte Strahl in einen S-polarisierten Strahl umgewandelt wird, und zwar bezüglich der Oberfläche des Gitterdeflektorelements 1200 und 1200'. Dieser S-polarisierte Strahl wird im wesentlichen zu 100% durch das Gitterdeflektorelement gebeugt und tritt aus dem Deflektor als ein S-polarisierter Abtaststrahl 1800 und 1800' aus. Die Abtaststrahlintensität ist konstant als eine Funktion des Deflektordrehwinkels für die dargestellten Deflektorfigurationen, weil der Polarisationszustand des umgewandelten linearpolarisierten Strahls konstant bleibt bezüglich der Gitterdeflektorelementoberfläche, und zwar infolge der Verwendung eines zirkularpolarisierten Einfallstrahls 1600 und 1600' und wegen des Vorhandenseins der Viertelwellenlängenplatte 2600 und 2600', die mit der Deflektoranordnung sich dreht.

Die Fig. 25 veranschaulicht, daß das vorgeschlagene Verfahren zur Verbesserung der Abtastradiometrieeffizienz und Gleichförmigkeit ohne weiteres angewendet werden kann bei Abbildanwendungsfällen mit interner Trommel und wobei durch diese Verwendung in effektiver Weise die radiometrische Durchsatzeffizienz von NPDG-Deflektoren, wie sie für Abbildanwendungsfälle mit interner Trommel verwendet werden, verdoppelt wird. Obwohl in den beiden Fig. 24 und 25 dargestellt ist, daß die Viertelwellenlängenplatten 2600 und 2600' im wesentlichen die gesamte obere Seite der Deflektorgehäuse 2800 und 2800' abdecken, brauchen doch diese Viertelwellenlängenplatten nur so groß zu sein, wie die Deflektoreingangsöffnung oder -apertur und konnten daher die Form eines zirkularen Fensters in einem Adapter besitzen, der in die Eingangsapertur oder -öffnung vor dem Anschluß eingeschraubt wird und sie kön-

nen von ähnlicher Anordnung sein hinsichtlich Fokussierlinse 2200 und dem flachen Ausgang und dem Anschlußfenster, verwendet in den Ausgangsaperturen 32' des Gehäuses 2800' des Deflektors 1000' in Fig. 25. Diese Art einer Schraubanordnung erleichtert auch die Winkelorientierung der optischen Achse der Viertelwellenlängenplatte bezüglich der Einfallsebene des Gitterdeflektorelements 1200 und 1200'.

Die Möglichkeit der Änderung der Winkelorientierung der Viertelwellenlängenplatte gestattet einem nicht nur, die radiometrische Durchsatzeffizienz des NPDG-Deflektors zu maximieren, sondern gestattet auch, die Veränderung der Durchsatzeffizienz zwischen annähernd 0 und 100%. Die Veränderung der Deflektordurchsatzeffizienz ist für viele Abbildanwendungsfälle nützlich, da die in diesen Anwendungsfällen verwendeten Laser das Vielfache der Leistung haben können, welches für die ordnungsgemäße Belichtung der Abbildmedien erforderlich ist. Normalerweise setzt man einen Filter neutraler Dichte ein, um die Laserleistung auf das erwünschte Niveau zu reduzieren, wenn zu viel Laserenergie vorhanden ist. Die Möglichkeit der Einstellung der Deflektordurchsatzeffizienz eliminiert die Notwendigkeit, ein Laserenergiereduzierfilter vorzusetzen.

In Fig. 26 ist eine polarisationsempfindliche Strahlreflektions-Kubusstrahldeflektoreinheit 4000 gezeigt, die erfindungsgemäß ausgebildet ist, um eine im wesentlichen 100%ige radiometrische Durchsatzeffizienz zu erreichen, wobei auch eine konstante Abtaststrahlintensität über den gesamten Bereich von Abtastwinkeln erreicht wird. Die Deflektoreinheit 4000 ist eine Kubusstruktur mit einer polarisationsempfindlichen Reflexionsoberfläche 4200, die sandwichartig angeordnet ist zwischen zwei im wesentlichen identischen 45° Rechtwinkelglasprismen 4400 und 4600, die einen Glaskubusstrahlenteiler 4900 definieren, wie dies von Tashiro erwähnt wird. Die Oberfläche 4200 überträgt Licht einer Polarisation und reflektiert Licht mit einer Polarisation senkrecht dazu. In Fig. 26 ist das Beispiel gezeigt, das praktisch 100% des P-polarisierten Lichts durchgelassen und praktisch 100% des S-polarisierten Lichts reflektiert werden.

Nach dem Durchgang durch die polarisationsempfindliche Strahlteilerreflexionsoberfläche 4200 pflanzt sich ein P-polarisiertes Lichtstrahl zu einer Viertelwellenlängenplatte 4800 fort, und zwar besitzt diese an ihrer Bodenoberfläche einen hochreflektierenden Spiegelüberzug 5000. Die Viertelwellenlängenplatte 4800 und die Reflexionsspiegeloberfläche 5000 sind senkrecht zu der Strahlfortpflanzungsrichtung orientiert und daher wird der Strahl auf sich selbst zurück retroreflektiert. Aus Gründen der Darstellung ist nur ein einziger Einfallsstrahl in Fig. 26 gezeigt, und der retroreflektierte Strahl in dieser Figur ist dargestellt als sich unter einem kleinen Winkel bezüglich der Einfallsstrahlfortpflanzungsrichtung fortpflanzend. Vorzugsweise verläuft der zentrale Einfallsstrahlungsstrahl 5200 für diese Deflektorgeometrie kollinear mit der Deflektordrehachse 54.

Erfindungsgemäß ist eine Viertelwellenlängenplatte 5800 optisch mit der Oberseite 6000 des Deflektorkubus verbunden und es wird ein Einfallsstrahl 6200 mit Zirkularpolarisation verwendet.

Das Viertelwellenlängenplättchen 5800 in Fig. 26 ist mit seiner optischen Achse winkelmäßig derart orientiert, daß es den einfallenden zirkularpolarisierten Strahl 6200 in einem P-polarisierten Strahl 6400 umwandelt, und zwar bezüglich der polarisationsempfindlichen

Strahlteilerreflexionsoberfläche 4200, die sandwichartig angeordnet ist zwischen den zwei im wesentlichen identischen 45° Rechtwinkelpriismenelementen 4400 und 4600 des Kubusstrahlteilers 4900. Dieser P-polarisierte Strahl wird praktisch zu 100% durch die polarisationsempfindliche Strahlteileroberfläche 4200 übertragen und pflanzt sich zu der Viertelwellenlängenplatte 4800 fort, die optisch mit der Deflektorkubusbodenoberfläche (Unterseite) verbunden ist. Der einfallende Strahl wird in Richtung der Quelle des Einfallsstrahls 6200 zurück retroreflektiert, und zwar durch die Reflexionspiegeloberfläche 5000, die nahezu senkrecht zur Einfallstrahlfortpflanzungsrichtung orientiert ist.

Infolge des Retroreflexionszustandes in Fig. 26 pflanzt sich der einfallende Strahl zweimal durch das zweite Viertelwellenlängenplättchen 4800 hindurch fort, wodurch die mit einem Halbwellenlängenplättchen verbundene Phasenverzögerung auftritt. Das zweite Viertelwellenlängenplättchen 4800 ist bezüglich der optischen Achse unter 45° gegenüber den Einfallstrahlpolarisationsrichtungen orientiert. Der aus dieser Viertelwellenlängenplatte 4800 austretende retroreflektierte Strahl 66 ist orthogonal polarisiert, und zwar bezüglich der Einfallstrahlpolarisationsrichtung und ist, wie dies in Fig. 26 gezeigt, der S-polarisierte Strahl 6600. Der S-polarisierte retroreflektierte Strahl 6600 pflanzt sich zurück fort, und zwar zu der polarisationsempfindlichen Reflexionsoberfläche 4200 des Strahlteilers, wo er im wesentlichen total reflektiert wird, und zwar in einer Richtung senkrecht zu der Deflektordrehachse, und er tritt aus dem Deflektorelement als ein S-polarisierter Abtastlichtstrahl 6800 aus. Die Abtaststrahlintensität ist konstant als eine Funktion des Deflektorrotationswinkels für den Deflektor 4000, da der Polarisationszustand des konvertierten oder umgewandelten linearpolarisierten Strahls konstant bleibt bezüglich der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche 4200, und zwar infolge der Verwendung eines zirkularpolarisierten Einfallsstrahls und ferner dadurch, daß die beiden Viertelwellenlängenplättchen 4800 und 5800 sich mit der Deflektoranordnung drehen.

Um sicherzustellen, daß die spekularen (d. h. spiegelbildlichen, spiegelsymmetrischen) reflektierten Strahlen von den Oberflächen des Kubusdeflektors 4000 nicht parallel sind, zu der Einfallstrahlrichtung, wird die Elementeneinheit um ungefähr 2° gekippt, und zwar gegenüber der senkrechten Orientierung bezüglich der Einfallstrahlrichtung, wie dies durch die Winkelabweichung zwischen dem Einfallstrahl 6400 und dem retroreflektierten Strahl 66 von der Bodenspiegeloberfläche 50 dargestellt ist. Das Kippen des Deflektorkubuselements kann erreicht werden, dadurch das man ein schwaches Keilglied (nicht gezeigt) zwischen dem Deflektorelement und ein Deflektorbefestigungsabenelement anordnet.

Antireflexionsüberzüge können auf den Einfallstrahl und Ausgangsabtaststrahlflächen des Kubus und der NPDG-Deflektoreinheit der Fig. 24, 25 und 26, vorgesehen sein, und zwar sowohl um deren Reflexionsverluste zu vermindern und auch um Geisterabtaststrahlen zu vermindern, die mit dem spekularen retroreflektierten Licht von diesen Oberflächen verbunden sind. Ein lichtabsorbierender Überzug 7000, wie beispielsweise eine auf gut schwarzem Kohlenstoff basierende Farbe mit einem Brechungsindex sehr nahe dem des Kubusdeflektorelementmaterials ist auf der Rückoberfläche der Deflektoreinheit in Fig. 26 gezeigt. Ein ähnlicher Überzug 2900 (aus schwarzer Farbe) ist auf der Außenober-

fläche des Gegenausgleichsanschluß- oder Öffnungsfensters 31 in dem Deflektor 1000 in Fig. 24 und dem Fenster 3100' in Fig. 25 verwendet. Diese schwarz angemalten Oberflächen absorbieren praktisch 100% des Lichtes, das auf diese auftrifft und arbeiten daher sowohl als sehr effizienter Antireflexionsüberzug als auch als ein lichtblockierendes Filter. Die Verwendung einer Lichtblockierung, wie er beispielsweise durch diese gemalten Oberflächen, ist bei Abtastsystemen mit interner Trommel erwünscht, die einen Bildaufzeichnungswinkel von mehr als 180° besitzen, wie dies in Fig. 25 dargestellt ist.

Die Fig. 27 veranschaulicht einen erfindungsgemäßen Deflektor oder eine Ablenkvorrichtung 7200, die auch radiometrisch effizient ist, polarisationsmäßig empfindlich ist, um eine duale Reflexion vorsieht, und zwar unter Verwendung eines rechtwinkligen soliden Strahls, wobei dieser Deflektor 7200 in der Betriebsart mit nachgeschaltetem Objektiv arbeitet, und zwar bezüglich einer Fokussierlinse 7300 für Abbildanwendungsfälle mit interner Trommel, und wobei ferner die Anbringung auf einem Translationsträger erfolgen kann mit der Drehachse 7400 coaxial mit einer internen Trommelabbildoberfläche, wie dies der Fall für die Deflektoranordnung 1000' gemäß Fig. 25 war. Die Deflektoreinheit 7200 ist eine Anordnung mit einem Gehäuse 7600 bestehend aus einer zylindrischen Seitenwand 7800 auf einer scheibenförmigen Befestigungsnahe 8000. Eine rechtwinklige Dualreflexionsstrahldeflektoreinheit 8200, wie in Verbindung mit Fig. 26 beschrieben, ist auf einer Befestigungsplatte 8400 auf der Nabe 8000 angeordnet. Da der eingeschlossene Winkel zwischen dem Strahlteilerdeflektor und der Spiegelreflexionsoberfläche in der Deflektoranordnung 7200 nicht 45° beträgt, ist der Ausgangsabtaststrahl nicht senkrecht zur Deflektordrehachse, wenn der einfallende Strahl parallel zur Drehachse verläuft. Wie zuvor bemerkt, ist dieser nicht-senkrechte Ausgangsabtaststrahlzustand gut geeignet für Abbildsysteme mit interner Trommel, da verhindert wird, daß das retroreflektierte spekulare Licht von der Abbildoberfläche der internen Trommel sich zurückfortpflanzt entlang des Einfallsstrahls und Geisterabtaststrahlen und Laserintensitätsinstabilität hervorruft. Während das Deflektorelement 8200 keine kubische Gestalt besitzt, ist es rotationsmäßig massensymmetrisch bezüglich der Deflektordrehachse 7400.

Obwohl das erste Viertelwellenlängenplättchen 8400 in Fig. 27 so dargestellt ist, als ob es die gesamte Oberseite des Deflektorgehäuses 7600 abdeckt, braucht dieses Viertelwellenlängenplättchen doch nur so groß zu sein, wie die Deflektoreingangsöffnung oder Apertur und es kann daher die Form eines zirkularen Fensters in einem Adapter besitzen, der in die Deflektorgehäusesseitenwand 7800 eingeschraubt ist, und zwar ähnlich in der Anordnung zu der Fokussierlinse und dem flachen Fenster, wie dies in den Ausgangsöffnungen oder -aperturen der Deflektoren in Fig. 25 verwendet wurde. Diese Art einer Schraubanordnung erleichtert, wie oben diskutiert, die Winkorientierung der optischen Achsen beider Viertelwellenlängenplättchen 8400, 8500 bezüglich der Ebene der Strahlteilerreflexionsoberfläche 9000, wodurch einem gestattet wird, die radiometrische Durchsatzeffizienz des Deflektors zwischen annähernd 0 und 100% einzustellen.

Die Linse 7300 des Betriebssystems gemäß Fig. 27 mit nachgeschaltetem Objektiv sieht einen nicht kollimierten Einfallstrahl in der Deflektoranordnung 7200 vor. Sowohl die polarisationsempfindliche Strahlteilerreflexionsoberfläche 90 als auch die Viertelwellenlän-

genplatten 8400 und 8500 in dieser Deflektoranordnung sind einfallswinkelabhängig. Wenn ein konvergierender Strahl durch die Deflektoranordnung fortgepflanzt wird, so nimmt die radiometrische Durchsatzeffizienz des Deflektors als eine Funktion des Anstiegs des Strahlungsstrahlabweichungswinkels bezüglich Deflektorrotationsachse ab und daher haben die Strahlungsstrahlwinkel mit größerem Konus des konvergierenden Strahls eine niedrigere radiometrische Durchsatzeffizienz bei Vergleich mit dem Axialstrahl. In der Tat bewirkt diese Änderung der radiometrischen Durchsatzeffizienz als eine Funktion des Strahlkonuswinkels, daß das Strahlintensitätsprofil des einfallenden Strahls apodisiert wird, was das Bildpunktgrößenintensitätsprofil ändert. Da dieser Apodisierungseffekt der gleiche für alle Bildpositionen ist, infolge der Tatsache, daß der einfallende Strahl auf der Deflektordrehachse zentriert ist, und weil ein zirkularpolarisierter Einfallsstrahl verwendet wird, bleibt die Größe und Form dieses Punktes, wo der Abtaststrahl die Bildoberfläche (2400 in Fig. 25) schneidet, der gleiche für alle interessierenden Bildpositionen. Der Apodisierungseffekt ist klein für konvergierende Strahlen mit einer f-Zahl größer als 10, da der maximale Konusstrahlwinkel für diesen Fall kleiner als 3° ist.

Die Viertelwellenlängenplättchen können Flüssigkristallverzögerungsplättchen sein. Diese Art einer Verzögerungsplatte kann bevorzugt sein, da sie mit relativ großen Einfallsstrahlwinkeln arbeitet, wie in einem System mit nachgeschaltetem Objektiv. Flüssigkristallverzögerungsplättchen werden von der Firma Meadowlark Optics in Longmont, Colorado, USA, vertrieben. Alternativ kann der Apodisationseffekt auf die Bildpunktgrößenform dadurch kompensiert werden, daß man die geeignete Aperturprofilform auf dem Deflektoreingangsfenster plaziert, so daß sie sich mit dem Deflektor dreht und dadurch den gleichen Effekt für sämtliche Bildpositionen besitzt. Ähnliche Effekte ergeben sich, wenn sich die Wellenlänge von der Laserquelle verschiebt oder ein Wellenlängenbereich abgedeckt wird, und eine Kompensation kann vorgesehen werden durch die Verwendung der Flüssigkristallverzögerungsplättchen für kleine (beispielsweise  $\pm 10 \mu\text{m}$ ) Wellenlängenverschiebungen und achromatisch ausgelegte Verzögerungsplättchen und Strahlteilerpolarisationsüberzüge.

Fig. 28 veranschaulicht eine polarisationsempfindliche Dualreflexions-Kubusstrahldeflektoreinheit 9200, die sich von der Deflektorkonfiguration gemäß Fig. 28 dadurch unterscheidet, daß das zweite Viertelwellenlängenplättchen 9400 an der Rückseite 95 des Strahlteilers 9500 angebracht ist und ferner dadurch, daß die Rückseite 96 der Wellenplatte 9400 des Deflektors 9200 als die hochreflektierende Spiegeloberfläche 9660 dient, während die Bodenoberfläche oder Unterseite 98 des Strahlteilers 9600 die lichtabsorbierende schwarz gemalte Oberfläche ist. Die Abtaststrahlnachföhreigenschaften der Deflektoranordnung 9200 gemäß Fig. 30 sind identisch zu den mit der Deflektoranordnung 4000 gemäß Fig. 28 erreichten Eigenschaften. Ein Vorteil der Verwendung einer schwarz angemalten Oberfläche am Boden des Deflektorelements besteht darin, daß jedwede Nicht-Flachheit und/oder Beanspruchung eingeführt in diese Oberfläche durch Bindemittelbefestigung des Elements einer der Befestigungsnaheanordnung einen vernachlässigbaren Effekt auf die optische Wellenfrontqualität des Abtaststrahls ausübt. Ein Nachteil der hinteren Deflektorelementoberfläche als Spiegelreflexions-

oberfläche besteht darin, daß diese Oberfläche durch die Zentrifugalkraft hervorgerufene Flachheitsverformungen zeigen kann, während die untere Deflektorelementoberfläche praktisch invariant gegenüber dieser Art von Verformung ist. Ein weiterer Nachteil der Deflektorkonfiguration gemäß Fig. 28 besteht darin, daß das Ankleben des Viertelwellenlängenplättchens 9400 an die Rückseite des Kubus 9600 sowohl den Durchmesser wie auch die Masse der Deflektoreinheit erhöht, und zwar infolge des erforderlichen Gegenausgleichsglasteils 99.

Aus Gründen der Darstellung ist nur ein einziger Einfallsstrahlungsstrahl 10 000 gezeigt. Der zentrale Einfallsstrahlungsstrahl für diese Deflektoranordnung ist zweckmäßigerweise kollinear mit der Deflektordrehachse 10 200. Das Viertelwellenlängenplättchen 10 400 in Fig. 30 ist mit seiner optischen Achse winkelmäßig derart orientiert, daß es den einfallenden zirkularpolarisierten Strahl in einem S-polarisierten Strahl 10 600 bezüglich der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche 108 umwandelt, die sandwichartig angeordnet ist zwischen zwei im wesentlichen identischen 45° Rechtwinkelprismenelementen 11 000 und 11 200, die den Kubusstrahlteiler 9600 bilden. Dieser S-polarisierte Strahl 10 600 wird praktisch zu 100% durch die polarisationsempfindliche Strahlteileroberfläche 10 800 reflektiert und pflanzt sich zu der zweiten Viertelwellenlängenplatte 9400 fort, die optisch an der Rückseite 9500 durch ein Bindemittel angebracht ist. Der hochreflektierende Spiegeloberflächenüberzug 9600 dieser zweiten Viertelwellenlängenplatte ist nahezu senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des reflektierten einfallenden Strahls angeordnet, und daher wird der reflektierte einfallende Strahl auf sich selbst zurück retroreflektiert mit Ausnahme einer kleinen Winkelversetzung 11 600. Diese Winkelversetzung wird dadurch erzeugt, daß man die Deflektoranordnung leicht bezüglich der Deflektordrehachse 10 200 kippt. Diese Winkelversetzung wird vorgesehen, um die Geisterabtaststrahlen und Laserintensitätsinstabilitätsprobleme minimiert, die mit den spekulär retroreflektierten Strahlen von den Deflektorelementoberflächen assoziiert sind.

Infolge des Retroreflexionszustandes gemäß Fig. 28 pflanzt sich der reflektierte einfallende Strahl in effektiver Weise zweimal durch das zweite Viertelwellenlängenplättchen 9400, wodurch er die mit einem Halbwellenplättchen assoziierte Phasenverzögerung erfährt. Wenn das zweite Viertelwellenlängenplättchen 9400 mit seiner optischen Achse unter 45° gegenüber der Einfallsstrahlpolarisationsrichtung orientiert ist, so wird der aus diesem Viertelwellenlängenplättchen austretende retroreflektierende Strahl orthogonal polarisiert sein, und zwar bezüglich der Einfallsstrahlpolarisationsrichtung. Der P-polarisierte retroreflektierte Strahl 118 pflanzt sich fort, und zwar zurück zu der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche, wo er im wesentlichen total durchgelassen wird, und zwar in einer Richtung senkrecht zu der Deflektordrehachse und er tritt aus im Deflektorelement als ein P-polarisierter Abtastlichtstrahl. Die Abtaststrahlintensität ist konstant als eine Funktion des Deflektordrehwinkels für diese Deflektorkonfiguration, weil der Polarisationszustand des konvertierten oder umgewandelten linearpolarisierten Strahls konstant bleibt, relativ zu der polarisationsempfindlichen Strahlteilerreflexionsoberfläche 9600 infolge der Verwendung eines zirkularpolarisierten Einfallsstrahls und des Vorhandenseins der beiden Viertelwellenlängenplatten 9400 und 10 400, die sich mit der Deflektoranordnung verdrehen.

Die obige Beschreibung erläutert, wie man sowohl im wesentlichen 100% radiometrische Durchsatzeffizienz und eine konstante Abtaststrahlintensität über den Gesamtbereich der Abtastwinkel mit dem NPDG- und den polarisationsempfindlichen Dualreflexionsdeflektoren erreicht. Die Erfindung ist auch bei anderen polarisationsempfindlichen Strahldeflektorsystemen verwendet. Weitere Abwandlungen liegen im Rahmen fachmännischen Könnens.

Aus der vorstehenden Beschreibung erkennt man ferner, daß verbesserte Deflektor- und Abtastelemente beschrieben wurden, die im Rahmen der Erfindung abwandbar sind.

Zusammenfassend sieht die Erfindung folgendes vor: Ein Abtaster der Bauart mit dualreflektierender und/oder nichtpolarisierender Monopfacette oder ein Strahldeflektor besitzt eine Hypotenusenstirnfläche und bildet einen Körper, der rechteckig oder zylindrisch sein kann und der in einem Gehäuse enthalten sein kann, der aerodynamische Stabilität vorsieht, wenn der Abtaster mit hoher Drehzahl sich dreht. Die Hypotenusenstirnfläche weist eine partiell reflektierende Oberfläche auf, auf der ein einfallender Strahl kollinear mit der Drehachse auftrifft. Dieser Strahl wird durchgelassen und reflektiert, um Dualstrahlen vorzusehen, von denen der eine durch Lichtabsorptionsmaterial, vorzugsweise ein Überzug, absorbiert wird, und zwar auf einer Oberfläche des Körpers, während der durchgelassene Strahl durch einen Spiegel auf einer weiteren Oberfläche des Körpers retroreflektiert wird, und zwar zurück zu der partiell reflektierenden Oberfläche. Ein Ausgangsstrahl wird durch den retroreflektierten Strahl vorgesehen. Der oben erwähnte Deflektor kann Teil eines Systems sein, welches einen Nachführ- oder Verfolgungsstrahl vorsieht, und zwar mit einer Wellenlänge unterschiedlich von der des Abtaststrahls, der von der partiell reflektierenden Oberfläche reflektiert wird und dann als ein dichroischer Strahlteiler arbeitet.

#### Patentansprüche

1. Ein Abtaster, der einen Lichtstrahl, der darauf einfällt bis zu 360° um eine Drehachse herum abtastet, und zwar über eine flache Feld oder eine zylindrische Abbildoberfläche, worin der Abtaster angeordnet ist, wobei der Abtaster folgendes aufweist: einen um die Achse drehbaren Körper und mit einer partiell reflektierten Oberfläche, auf der der Strahl einfällt und in Dualstrahlen aufgespalten wird, von denen ein erster in eine erste Richtung zu der Abbildoberfläche reflektiert wird, wobei diese erste Richtung quer zur der erwähnten Achse verläuft, wobei ein zweiter der Strahlen dahindurch in einer zweiten Richtung übertragen wird, und zwar im allgemeinen längs der erwähnten Achse und ein Spiegel in dem Pfad von einem der ersten und zweiten der Dualstrahlen, welcher den erwähnten einen der Dualstrahlen retroreflektiert, wobei der retroreflektierte Strahl auf die erwähnte Oberfläche auftrifft und von dort in eine Richtung projiziert wird, die quer zu der Achse verläuft, um einen Ausgangsabtaststrahl vorzusehen, der die Abbildoberfläche abtastet.
2. Ein Abtaster, der einen darauf unter 360° um eine Drehachse auftreffenden Lichtstrahl über ein flaches Feld oder Gebiet bildende oder eine zylindrische Abbildoberfläche tastet, innerhalb von der der Abtaster angeordnet ist und wobei der Abtaster

folgendes aufweist:

einen um die erwähnte Achse drehbaren Körper und mit einer partiell reflektierenden Oberfläche, auf der der Strahl einfällt und in zwei Dualstrahlen aufgespalten wird, wobei ein erster reflektiert und in unterschiedlichen Richtungen übertragen wird, und zwar zu der Abbildoberfläche und ebenfalls transversal zu der erwähnten Achse, wobei ein zweiter der Strahlen rückgeleitet wird, von der Abbildoberfläche und

ein Spiegel quer zum Pfad eines der ersten und zweiten der Dualstrahlen, wobei der Spiegel den erwähnten einen der Dualstrahlen retroreflektiert, wobei der retroreflektierte Strahl auf die partiell reflektierende Oberfläche einfällt und von dort in einer Richtung wegprojiziert wird, die quer verläuft zu der erwähnten Achse, um einen Ausgangsabtaststrahl vorzusehen, der die Abbildoberfläche abtastet.

3. Abtaster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erwähnte Oberfläche einen nicht-polarisierten Strahlteiler vorsieht.

4. Abtaster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel in dem Pfad des einfallenden Laserstrahls und in der Oberfläche vorgesehen sind, um einen räumlichen Strahlteiler vorzusehen.

5. Abtaster nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dualstrahlen einen ersten Strahl oder einen zweiten Strahl aufweisen,

wobei der erste Strahl auf den Spiegel auftrifft und von diesem retroreflektiert wird, und wobei der zweite Strahl davon nicht retroreflektiert wird, und wobei ferner Mittel vorgesehen sind, um den zweiten Strahl zu absorbieren.

6. Abtaster nach einem oder mehreren der Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 5, wobei der zweite Strahl der durchgelassene Strahl der Dualstrahlen ist, und durch die Absorptionsmittel absorbiert wird und wobei die erwähnte zweite Richtung die Richtung ist, in der der zweite Strahl übertragen wird, wobei die zweite Richtung im allgemeinen entlang der erwähnten Achse verläuft.

7. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Strahl der reflektierte Strahl der Dualstrahlen ist, und absorbiert wird durch die Absorptionsmittel, wobei die zweite Richtung quer zu der erwähnten Achse verläuft.

8. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der retroreflektierte Strahl ferner aufgeteilt wird in den erwähnten Ausgangsabtaststrahl und einen dritten Strahl in der Richtung entgegengesetzt zu dem einfallenden Strahl und wobei Mittel vorgesehen sind, um den dritten Strahl außer Kollinearität mit dem erwähnten Einfallstrahl zu kippen.

9. Abtaster nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Kippmittel Teile des Körpers aufweisen, und zwar auf entgegengesetzten Seiten der Oberfläche, die unterschiedliche Brechungsindizes besitzt.

10. Abtaster nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, daß die Kippmittel vorsehen, daß der

Körper identische rechtwinklige Prismen aufweist mit Oberflächen entlang deren Hypotenusen, die die partiell reflektierte Oberfläche definieren, und wobei die Prismen Innenwinkel mit Hypotenusenoberflächen aufweisen, die kleiner und größer als 45° sind, wobei die Prismen derart angeordnet sind, daß der Innenwinkel eines der Prismen kleiner ist als 45° benachbart zum Innenwinkel des anderen der Prismen liegt, der größer ist als 45°.

11. Abtaster nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Kippmittel vorsehen, daß der Spiegel zu einer reflektierenden Oberfläche in einer nicht senkrechten Beziehung mit dem Einfallstrahl aufweist.

12. Abtaster nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegeloberfläche mit einem spitzen Winkel bezüglich einer Ebene gekippt ist, die senkrecht zu der Drehachse verläuft.

13. Abtaster nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper ein Kubus ist mit entgegengesetzt liegenden Seiten, wobei auf die eine der Einfallstrahl auftrifft, während der Spiegel benachbart zu der anderen der entgegengesetzt liegenden Seiten angeordnet ist, und wobei ein transparentes keilförmiges Glied angeordnet ist zwischen der erwähnten anderen der entgegengesetzt liegenden Seiten und dem Spiegel und einen Innenwinkel besitzt, der gleich ist dem spitzen Winkel, wobei der Keil eine Oberfläche besitzt, die senkrecht gegenüber der Drehachse verläuft, gegen welche die andere der entgegengesetzten liegenden Seiten angeordnet ist.

14. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der einfallende Strahl kollinear mit der Drehachse verläuft und daß eine Fokussierlinse in dem Pfad des einfallenden Strahls zum Körper vorgesehen ist, um einen Deflektor oder Ablensystem der Bauart mit nachgeordnetem Objektiv vorzusehen.

15. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Einfallstrahl kollinear mit der Drehachse verläuft und daß eine F-Theta-Abtastlinse in dem Pfad des Ausgangsstrahls vorgesehen ist, um ein Deflektorsystem der Bauart mit vorgeschaltetem Objektiv vorzusehen.

16. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper zwei identische rechtwinklige Prismen aufweist, deren Hypotenusenoberflächen in Kontakt stehen um einen Kubus zu definieren, wobei die erwähnte partiell reflektierende Oberfläche an den erwähnten Hypotenusenoberflächen vorgesehen ist.

17. Abtaster nach Anspruch 16 dadurch gekennzeichnet, daß der Kubus erste und zweite Oberflächen besitzt, die durch die Drehachse geschnitten werden und entgegengesetzt zu der Hypotenuse liegende Oberflächen, wobei ferner der Kubus dritte und vierte Oberflächen im ganzen parallel zur Drehachse aufweist, wobei der einfallende Strahl auf die erwähnte erste Oberfläche auftrifft und der Ausgangsabtaststrahl die vierte Oberfläche schneidet, wobei eine der zweiten und dritten Oberflächen reflektiert und die andere für Licht absorbierend ist.

18. Abtaster nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß der Kubus flache Abschnitte an den Ecken desselben aufweist, wo die ersten, dritten, vierten und zweiten, dritten und vierten Oberflächen sich schneiden.

19. Abtaster, insbesondere System nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ferner folgendes vorgesehen ist:

ein um die erwähnte Drehachse drehbares Gehäuse mit einer Eingangsseite, durch die der erwähnte Einfallstrahl eintritt, wobei der Körper eine Platte ist, die darauf die erwähnte partiell reflektierte Oberfläche besitzt, wobei die Platte in dem Gehäuse angeordnet ist, wobei die erwähnte Oberfläche unter einem Winkel von 45° gegenüber der Drehachse läuft, wobei ein Ausgangsfenster in dem Gehäuse zu der erwähnten Oberfläche hinweist durch welches der Ausgangsabtaststrahl läuft,

ein Spiegel, und ein lichtabsorbierendes Glied, wobei entweder der Spiegel oder das lichtabsorbierende Glied in dem Gehäuse angeordnet sind und auf der entgegengesetzt liegenden Seite der Platte von der Eingangsseite, wobei ferner das andere Teil, d. h. entweder der Spiegel oder das Glied in dem Gehäuse angeordnet sind und auf der entgegengesetzt liegenden Seite der Platte von dem Fenster.

20. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 2, wobei folgendes vorgesehen ist:

eine Nabe, auf der der Körper angeordnet ist, eine zylindrische Wand auf der Nabe um den Körper herum, wobei die Wand eine Öffnung für den Ausgangsstrahl besitzt, wobei schließlich ein Ausgangsfenster an der Wand über der Öffnung vorgesehen ist.

21. Abtaster nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster ein transparentes Kunststoff-Flächenelement ist, welches entsprechend dem Fenster geformt ist.

22. Abtaster nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Kunststoff-Flächenelement auf die Wand um das Fenster herum durch Wärme aufgeschwumpft ist.

23. Abtaster nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper ein Kubus ist, und zwar quer zur Drehachse auf ersten und zweiten entgegengesetzt liegenden Seiten davon, wobei der Einfallstrahl auf der ersten der entgegengesetzt liegenden Seite auftrifft und der Spiegel auf der anderen der entgegengesetzt liegenden Seiten angeordnet ist, und zwar entgegen der Nabe, wobei eine zylindrische Wand auf der Nabe sich um den Kubus herum erstreckt, wobei schließlich der Kubus Ecken besitzt, die im allgemeinen parallel zur Drehachse verlaufen, und zwar verbunden mit der Seitenwand auf der Innenseite davon.

24. Abtaster nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper ein Kubus ist, daß eine Befestigungsplatte, an der der Kubus angebracht ist, auf einer Seite davon angeordnet ist, und zwar entgegengesetzt zu der Seite, auf der der Einfallstrahl auftrifft, und wobei schließlich Mittel vorgesehen sind, um die Befestigungsplatte in einstellbarer Weise an der Nabe zu befestigen.

25. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Nabe



vorgesehen ist, auf der der Körper angebracht ist, wobei ferner eine im allgemeinen zylindrische napfförmige transparente Schale oder ein Mantel mit der Nabe den Körper umfassend vorgesehen ist, wobei die Schale eine Linse definiert, zum Kompensieren der statisch und dynamisch hervorgerufenen Abbildkraft in dem Abtaster.

26. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, wobei folgendes vorgesehen ist: der Körper ist ein Zylinder kollinear mit der Drehachse, der Zylinder wird definiert durch ein Paar von Prismen mit Hypotenusenoberflächen, die aufeinander zuweisen, wobei mindestens eine der Oberflächen die erwähnte partiell reflektierende Oberfläche bildet, der einfallende Strahl fällt auf das eine Ende des Zylinders ein, lichtabsorbierendes Material ist in der Nähe zu einem Ende des Zylinders angeordnet, und zwar entgegengesetzt zu dem erwähnten einen Ende, der Spiegel ist auf einer ersten Wandzone des Zylinders vorgesehen die zu der erwähnten Oberfläche auf einer Seite davon hinweist, um den erwähnten Strahl durch die Oberfläche zu einer zweiten Wandzone entgegengesetzt zu der ersten Wandzone zu retroreflektieren, und eine zylindrische Linse mit einer Kraft oder Leistung in einer Richtung im allgemeinen senkrecht zu dem Ausgangsstrahl, und zwar angeordnet in dem Pfad des Einfallsstrahls, wobei die zylindrische Linse einen Brennpunkt innerhalb des Zylinders nahe der ersten Wandzone besitzt.

27. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper ein Zylinder ist mit seiner Achse kollinear mit der Drehachse verlaufend, wobei der Zylinderkörper entgegengesetzt liegende Enden aufweist, wobei auf eines von diesen der einfallende Strahl auftrifft, und wobei in der Nähe des anderen der Spiegel angeordnet ist, wobei der Zylinder entgegengesetzt liegende Wandzonen oder -regionen besitzt, wobei von einer der Ausgangsstrahl wegprojiziert wird, und wobei auf der anderen das lichtabsorbierende Material angeordnet ist, wobei schließlich die eine Wandzone in eine Ebene parallel zur Achse des Zylinders flach ist.

28. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der räumliche Strahlteiler Mittel vorsieht, die eine Platte aufweisen, welche die erwähnte Oberfläche darauf besitzt und gekippt ist bezüglich der Drehachse, wobei die Oberfläche reflektierend ist und auf den Spiegel hinweist, und wobei schließlich die erwähnte Oberfläche eine klare oder durchsichtige Öffnung oder Apertur darinnen entlang der erwähnten Achse aufweist, und wobei ferner eine Linse den einfallenden Strahl in der Nähe der Apertur oder Öffnung derart fokussiert, daß der Strahl beim Hindurchlaufen durch die Apertur oder Öffnung und der Reflexion von dem Spiegel divergiert und reflektiert wird durch die reflektierende Oberfläche als der Ausgangsstrahl.

29. Abtaster nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß eine Umschließung oder Umhüllung vorgesehen ist, die die erwähnte Platte darinnen aufweist, wobei die Linse hinreichend Kraft besitzt, um ein virtuelles Bild für den erwähnten Strahl vor-

zusehen, der auf einen Punkt außerhalb der Umschließung fokussiert ist, wenn er von der reflektierten Oberfläche in einer Richtung entgegengesetzt zu dem Ausgangsstrahl projiziert ist.

30. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der räumliche Strahlteiler Mittel vorsieht, die eine Region oder Zone aufweisen, und zwar in der erwähnten Oberfläche geschnitten durch die erwähnte Drehachse, die reflektierend ist und ein Einfallstrahl zu dem Spiegel hin reflektiert, wobei mindestens ein Teil der erwähnten Oberfläche um die Zone oder Region herum optisch durchlässig ist, wobei ferner eine Linse in den Pfad des Einfallsstrahls angeordnet ist mit einer Brennweite oder einem Brennpunkt in der Nähe der erwähnten Zone, wobei schließlich der Strahl von der Zone zu dem Spiegel reflektiert und durch den Spiegel retroreflektiert wird, und zwar durch den erwähnten durchlässigen Teil der erwähnten Oberfläche, so daß der erwähnte Ausgangsstrahl gebildet wird.

31. Abtaster nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegel konkav ist um eine optische Achse quer zu Drehachse durch die erwähnte Zone und eine entsprechende Kraft aufweist.

32. Abtaster nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß der konkave Spiegel ein Mangin-Spiegel ist.

33. Abtaster nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fokussierlinse längs der optischen Achse des Spiegels angeordnet ist, durch die der Ausgangsstrahl läuft.

34. Abtaster nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß eine Umschließung für den Körper vorgesehen ist, die Fenster drinnen aufweist und zwar entgegengesetzt jeweils entlang der optischen Achse, wobei eines der Fenster zu der erwähnten Zone hinweist und den Spiegel enthält, während das andere der Fenster die Fokussierlinse enthält.

35. Abtastsystem zum Vorsehen eines ersten Abtaststrahls einer ersten Wellenlänge und eines zweiten Strahls und einer zweiten Wellenlänge unterschiedlich von der ersten Wellenlänge, welcher den Abtaststrahl verfolgt (tracks), wenn er eine Abbildoberfläche abtastet, um ein Signal des "in scan"-Nachführ- oder Verfolgungsfehlerssystems vorzusehen, wobei das System eine Ablenkvorrichtung oder ein Deflektor aufweist, der um eine Achse drehbar ist und einen dichroischen Strahlteiler aufweist, der einen übertragenen Strahl der ersten Wellenlänge vorsieht, wobei ferner ein Spiegel in dem Pfad des übertragenen Strahls vorgesehen ist, der den übertragenen Strahl zu dem Strahlteiler hin retroreflektiert, wo der übertragene Strahl transversal zur Drehachse des ersten Abtaststrahls reflektiert wird, und wobei ferner dichroische Strahlkombiniermittel im Lichtpfad der ersten und zweiten Wellenlängen vorgesehen sind, welche das kombinierte Licht der ersten und zweiten Wellenlängen zu dem Strahlteiler leiten, wo die erwähnte zweite Wellenlänge als der zweite Strahl in einer Richtung reflektiert wird, entgegengesetzt zu dem Abtaststrahl, und wobei schließlich Mittel vorgesehen sind, die auf Licht der erwähnten zweiten Wellenlänge von dem zweiten Strahl ansprechen, um das erwähnte Signal vorzusehen.

36. Abtastsystem nach Anspruch 35, wobei ferner ein Abtaster nach Anspruch 1 vorgesehen ist, der einen dichroischen Strahlteiler an der erwähnten partiell reflektierenden Oberfläche desselben vorsieht, und wobei der erwähnte Spiegel als der erwähnte Spiegel im Pfad eines der erwähnten Dualstrahlen davon vorgesehen ist.

37. Abtastsystem nach Anspruch 35, wobei die Signalvorsehmittel einen zweiten Spiegel aufweisen mit einer gekrümmten Oberfläche zentriert an der Rotationsachse und wobei ein Nachführ- oder Verfolgungstakt oder -clock auf der erwähnten Kurvenoberfläche oder gekrümmten Oberfläche vorgesehen ist, wobei der zweite Spiegel und ein Photodetektor sukzessiv in dem Pfad des Verfolgungsstrahls angeordnet sind.

38. System nach Anspruch 37, wobei ferner Mittel vorgesehen sind, um Licht der ersten Wellenlänge zu blockieren, welches auf den Photodetektor auftrifft.

39. Ein Abtaster, der einen Lichtstrahl tastet, der darauf einfällt, und zwar um eine Drehachse über eine Abbildoberfläche hinweg, und zwar in Form eines flachen Feldes oder von zylindrischer Form, wobei der Abtaster drinnen angeordnet ist und folgendes aufweist: einen um die erwähnte Achse drehbaren Körper und mit einer partiell reflektierenden Oberfläche, auf der der Strahl einfällt und aufgespalten wird in zwei Dualstrahlen, von denen ein erster reflektiert und ein zweiter dahindurch übertragen wird, wobei diese Strahlen sich in unterschiedlich gerichteten Pfaden erstrecken, wobei einer der Pfade im ganzen längs der Wellenachse verläuft und der andere der Pfade quer zu der Achse verläuft, ein Spiegel quer zum Pfad eines der erwähnten Dualstrahlen, wobei der Spiegel in einen der Dualstrahlen retroreflektierend und zwar zu der partiell reflektierenden Oberfläche hin, wobei der retroreflektierte Strahl auf die erwähnte partiell reflektierende Oberfläche auftrifft und von dort in einer Richtung projiziert wird, die quer verläuft zu der erwähnten Achse, um einen Ausgangsabtaststrahl vorzusehen, der die Abbildoberfläche abtastet.

40. Abtaster nach einem oder mehreren vorhergehenden Ansprüchen, insbesondere nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Strahl längs des erwähnten Pfades im allgemeinen längs der erwähnten Achse übertragen wird, und daß der erwähnte zweite Strahl längs des Pfades quer zu der erwähnten Achse reflektiert wird, wobei einer der ersten und zweiten Strahlen der erwähnte erste Strahl ist.

41. Abtaster nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß ein Element aus lichtabsorbierendem Material benachbart zu dem Körper im Pfad des zweiten Strahls vorgesehen ist.

42. Abtaster nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Strahl entlang des erwähnten Pfades reflektiert wird, und zwar quer zu der erwähnten Achse, und wobei der erwähnte zweite Strahl längs des Pfades im allgemeinen längs der erwähnten Achse übertragen wird, wobei einer der ersten und zweiten Strahlen der erste Strahl ist.

43. Abtaster nach Anspruch 42, wobei ein Element aus lichtabsorbierendem Material benachbart zu dem Körper in dem Pfad des zweiten Strahls angeordnet ist.

44. Ein Abtaster, der einen Lichtstrahl tastet, der darauf unter  $360^\circ$  einfällt, und zwar um eine Drehachse über eine Flachfeld- oder eine zylindrische Abbildoberfläche, wobei der Abtaster folgendes aufweist: eine um die oben erwähnte Achse drehbaren Körper und mit einer partiell reflektierenden Oberfläche, die einen räumlichen Strahlteiler definiert, der den einfallenden Strahl entweder durchläßt oder reflektiert, und zwar längs eines Pfades entweder transversal oder im allgemeinen entlang der erwähnten Achse, wobei ein Spiegel, der zu dem Pfad des Strahls verläuft, der den erwähnten Strahl retroreflektiert, und zwar zu der partiell reflektierenden Oberfläche hin, wo der erwähnte Strahl entweder reflektiert oder durchgelassen wird, und zwar in einer Richtung zu der Abbildoberfläche hin in einer Richtung und quer zu der erwähnten Achse, um einen Ausgangsabtaststrahl vorzusehen, der die erwähnte Abbildoberfläche abtastet.

45. Abtaster nach Anspruch 44, wobei die Oberfläche erste und zweite Teile aufweist, die reflektiv bzw. transmissiv sind, wobei der erste Teil den erwähnten zweiten Teil umgibt und wobei der einfallende Strahl auf den zweiten Teil auffällt, und wobei ferner der Pfad des erwähnten Strahls im allgemeinen längs der erwähnten Achse verläuft, und wobei die Majorität des retroreflektierten Strahls auf den erwähnten ersten Teil auftrifft und zu der Abbildoberfläche reflektiert wird.

46. Abtaster nach Anspruch 44, wobei die erwähnte Oberfläche erste und zweite Teile aufweist, die durchlässig bzw. reflektierend sind, wobei der erste Teil den zweiten Teil umgibt, und wobei der einfallende Strahl auf den zweiten Teil auftrifft, und wobei der erwähnte Pfad des erwähnten Strahls quer zu der erwähnten Achse verläuft und wobei die Majorität des retroreflektierten Strahls auf den ersten Teil auftrifft und dahindurch zu der Abbildoberfläche übertragen wird.

47. Ein optischer Strahlabtaster zum Vorsehen eines Abtaststrahls, der sich über eine Strahlaufnahmeoberfläche bewegt und einen einfallenden optischen Strahl aufnimmt, der zirkular polarisiert ist und sich längs einer Drehachse des Abtasters fortpflanzt, und wobei folgendes vorgesehen ist: um die erwähnte Achse drehbare Mittel zum Umwandeln des zirkularpolarisierten einfallenden Strahls in einen linearpolarisierten ersten Strahl mit einer Polarisationsrichtung quer zu der erwähnten Achse und der sich um die erwähnte Achse dreht, und Strahlableitmittel mit einer polarisationsempfindlichen Ableitoberfläche, auf die der Strahl auftrifft und wobei diese Ableitoberfläche um die erwähnte Achse drehbar ist mit den Umwandlungsmitteln, um einen linear polarisierten Strahl vorzusehen, der auf die Aufnahmeoberfläche als der Abtaststrahl auftrifft, wobei die Polarisationsrichtung und die Ableitoberfläche in einer solchen Winkelbeziehung angeordnet sind, daß die Radiomitteldurchsatzeffizienz des Abtasters maximiert wird.

48. Abtaster nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisationsrichtung eine von zwei orthogonalpolarisierten Richtungen ist.

49. Abtaster nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die polarisierten Richtungen annähernd orthogonal zu der Drehachse verlaufen.

50. Abtaster nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß der zirkularpolarisierte Strahl optische Energie mit einer bestimmten Wellenlänge aufweist, und daß die Umwandlungsmittel ein Viertelwellenlängenverzögerer bei der erwähnten Wellenlänge sind.

51. Abtaster nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlablenkmittel eine Eintrittsöffnung aufweisen, durch die der linearpolarisierte erste Strahl läuft, wobei die Verzögerungsmittel eine Wellenplatte in einer optischen Achse sind, wobei diese Platte ferner mechanisch mit den Ablenkmitteln verbunden ist und quer zu der Eintrittsöffnung angeordnet ist.

52. Abtaster nach Anspruch 51, wobei die optische Achse der Platte winkelmäßig bezüglich des einfallenden Strahls derart orientiert ist, daß sie den einfallenden Strahl in den linearpolarisierten Strahl umwandelt.

53. Abtaster nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Viertelwellenlängenplatte eine Flüssigkristallvorrichtung ist.

54. Abtaster nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fokussierlinse vorgesehen ist, und zwar entlang der Drehachse in dem Pfad des zirkularpolarisierten Einfallsstrahls, wobei die Viertelwellenlängenplatte zwischen der erwähnten Linse und dem Deflektions- oder Anlenkmitteln derart angeordnet ist, daß die Viertelwellenlängenplatte und die Ablenkmittel einer Beziehung der Linse angeordnet sind, die als "Nach-Objektiv"-Beziehung angesprochen werden kann.

55. Abtaster nach Anspruch 48, wobei die beiden Polarisationsrichtungen die P- und S-Richtungen sind, und zwar bezüglich der Ablenkoberfläche.

56. Abtaster nach Anspruch 48, wobei die Ablenkmittel vorgesehen werden durch einen NPDG-Deflektor oder Ablenker mit einem Gitter, welches die polarisationsempfindliche Ablenkoberfläche vorsieht, welche eine der P- und S-Richtungen mit radiometrischer Effizienz von ungefähr 90% oder mehr beugt, um den Abtaststrahl vorzusehen.

57. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkmittel ein Strahlteiler sind, der die erwähnte polarisationsempfindlichen Ablenkoberfläche besitzt, die unterschiedlich orthogonal polarisierte Richtungen reflektiert bzw. durchläßt.

58. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 57, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkmittel Mittel aufweisen, auf die die übertragenen und reflektierten polarisierten Richtungen auftreffen für die Retroreflexion der erwähnten einen Richtung zurück zu der polarisationsempfindlichen Oberfläche und zur Umwandlung der Polarisation desselben in eine Polarisation orthogonal zu der Polarisation des darauf einfallenden Lichtes, wobei das retroreflektierte Licht eine Polarisation orthogonal zu der Polarisation des linear polarisierten ersten Strahls besitzt und durch die polarisationsempfindliche Ablenkoberfläche reflektiert oder durchgelassen wird, um den erwähnten Abtaststrahl vorzusehen.

59. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 58, dadurch gekennzeichnet, daß die retroreflektierenden Umwandelmittel eine Viertelwellenlänge-

platte mit entgegengesetzt liegenden Oberfläche ist, wobei eine derselben zu der polarisationsempfindlichen Oberfläche hinweist und die andere zu der polarisationsempfindlichen Oberfläche reflektiert.

60. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 59, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlteiler eine Rückseite und eine Vorderseite besitzt, die zu bzw. weg von der Abtastoberfläche weisen, wobei der Strahlteiler einen Boden aufweist, und zwar zwischen den erwähnten Seiten und eine Oberseite, auf der der linearpolarisierte erste Strahl auftrifft, wobei die Viertelwellenlängenplatte entweder an dem erwähnten Boden oder der Rückseite vorgesehen ist, und zwar zum Retroreflektieren und Umwandeln des durchgelassenen Strahls, wenn dieser auf dem Boden auftrifft oder des reflektierten Strahls, wenn dieser auf der Rückseite auftrifft.

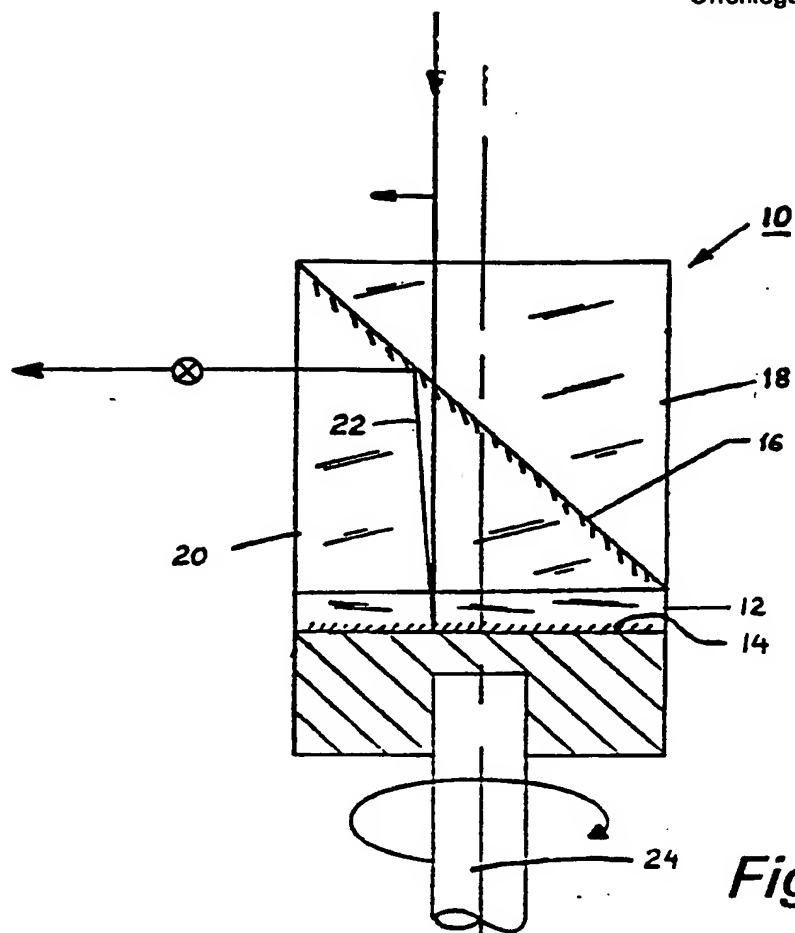
61. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet, daß der Boden lichtabsorbierendes Material darauf aufweist, wobei die Platte so dann auf der Rückseite vorgesehen ist, und die Rückseite das erwähnte lichtabsorbierende Material darauf besitzt, wobei die Platte dann auf dem Boden sich befindet.

62. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 51, gekennzeichnet durch Mittel zum Einstellen der Winkelorientierung der optischen Achse der Viertelwellenlängenplatte bezüglich der polarisationsempfindlichen Ablenkoberfläche zum Einstellen der Durchsatzeffizienz des Lasers.

63. Abtaster nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß der einfallende Strahl von einer Quelle kommt, die stationär ist, während die Strahlablenkmittel derart rotieren, daß der zirkularpolarisierte Einfallstrahl räumlich stationär ist, während die Strahlablenkmittel im Raum sich drehen mit den Umwandlungsmitteln.

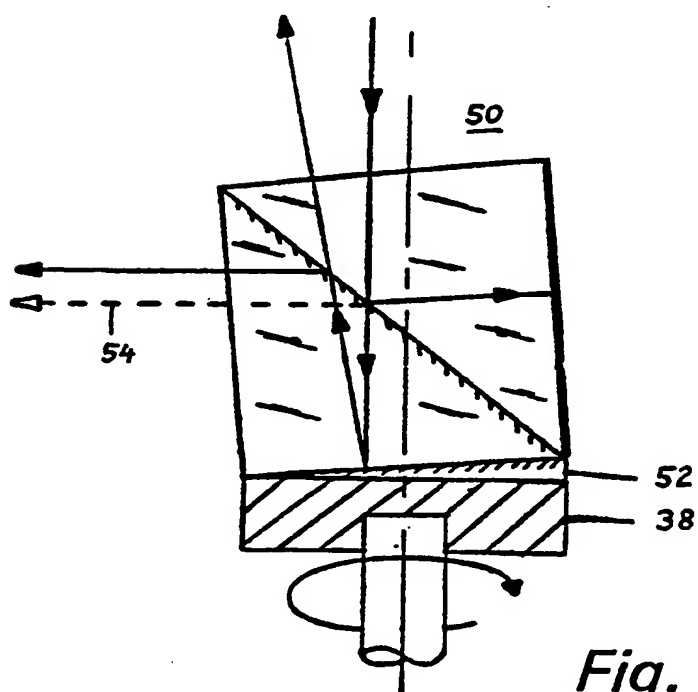
Hierzu 19 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



**Fig. 1**

Stand der Technik



**Fig. 3**



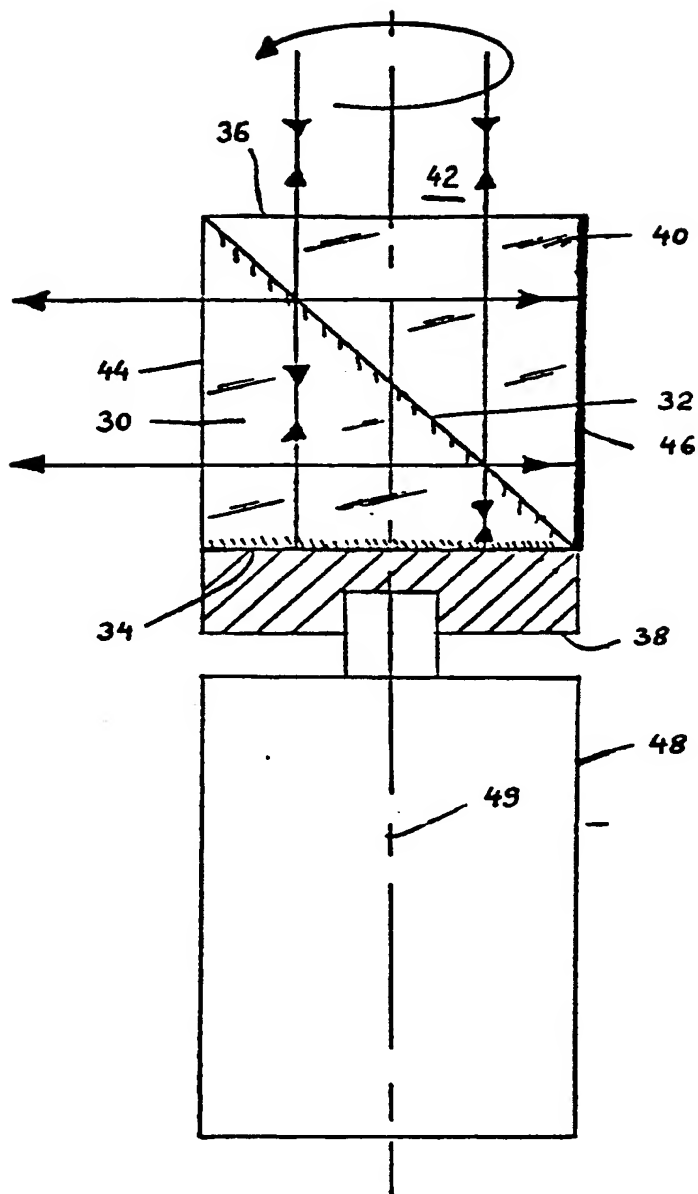
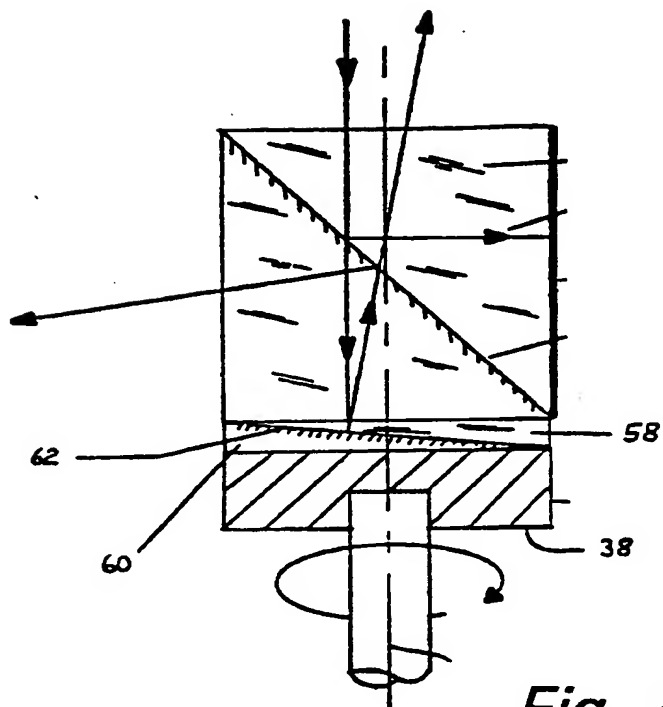
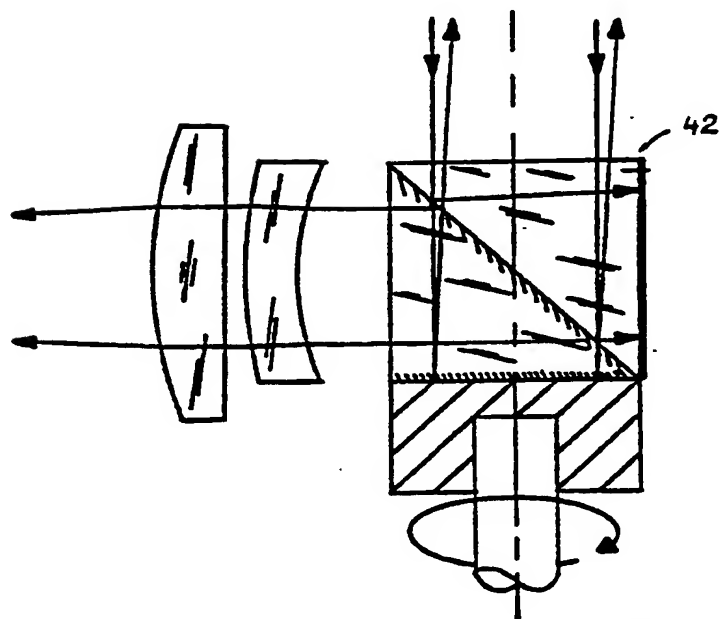


Fig. 2



*Fig. 4*



*Fig. 5*

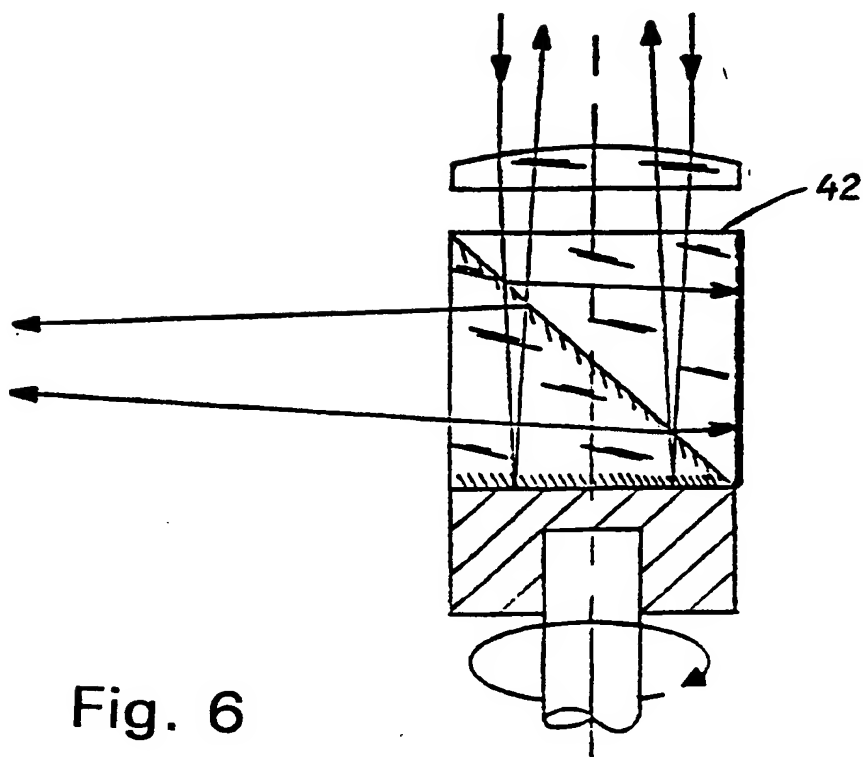


Fig. 6

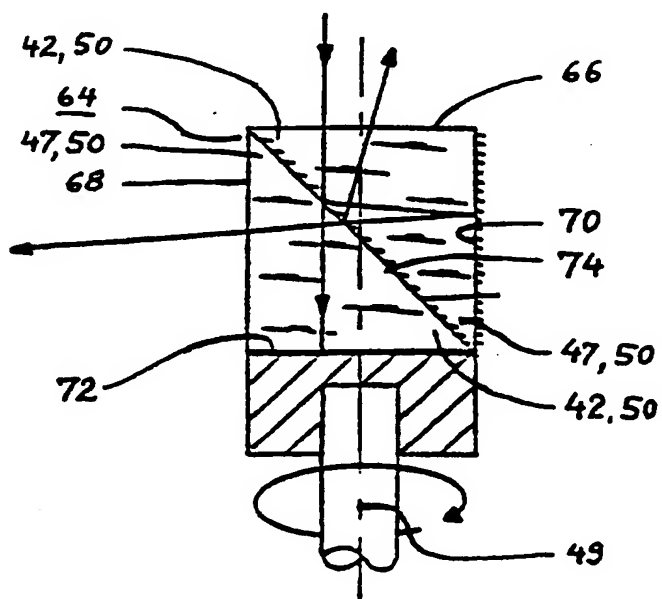


Fig. 7

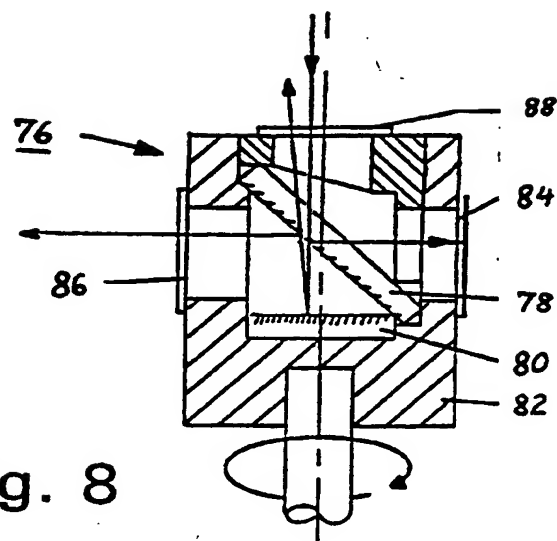


Fig. 8

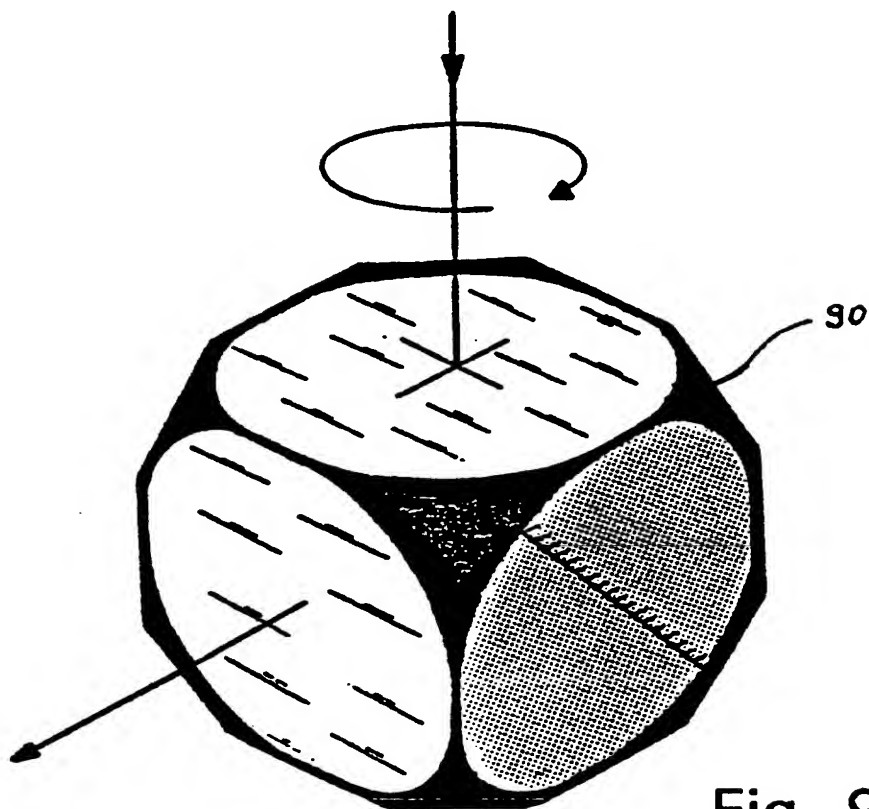
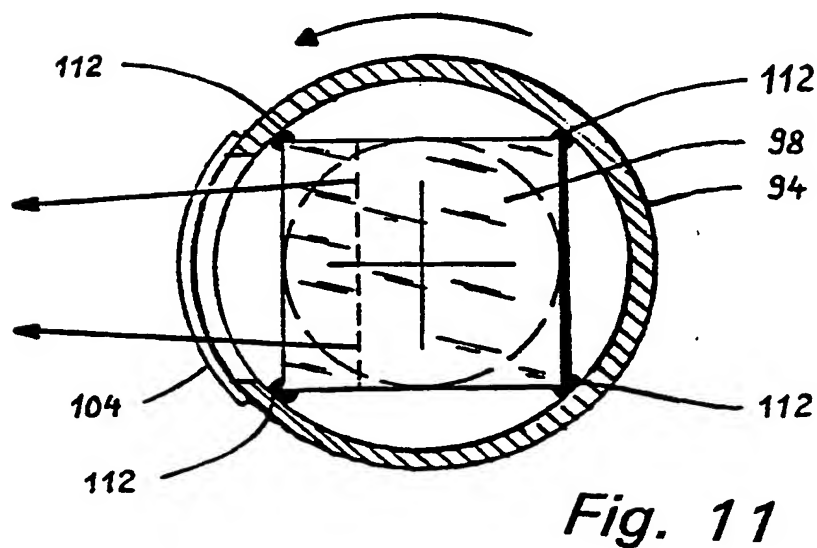
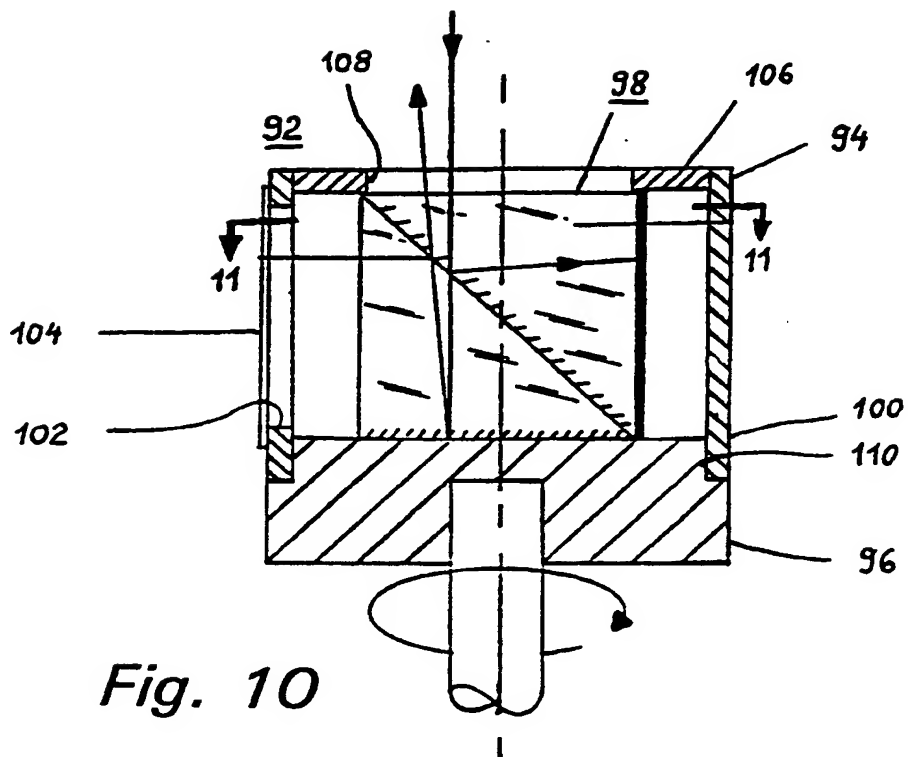


Fig. 9





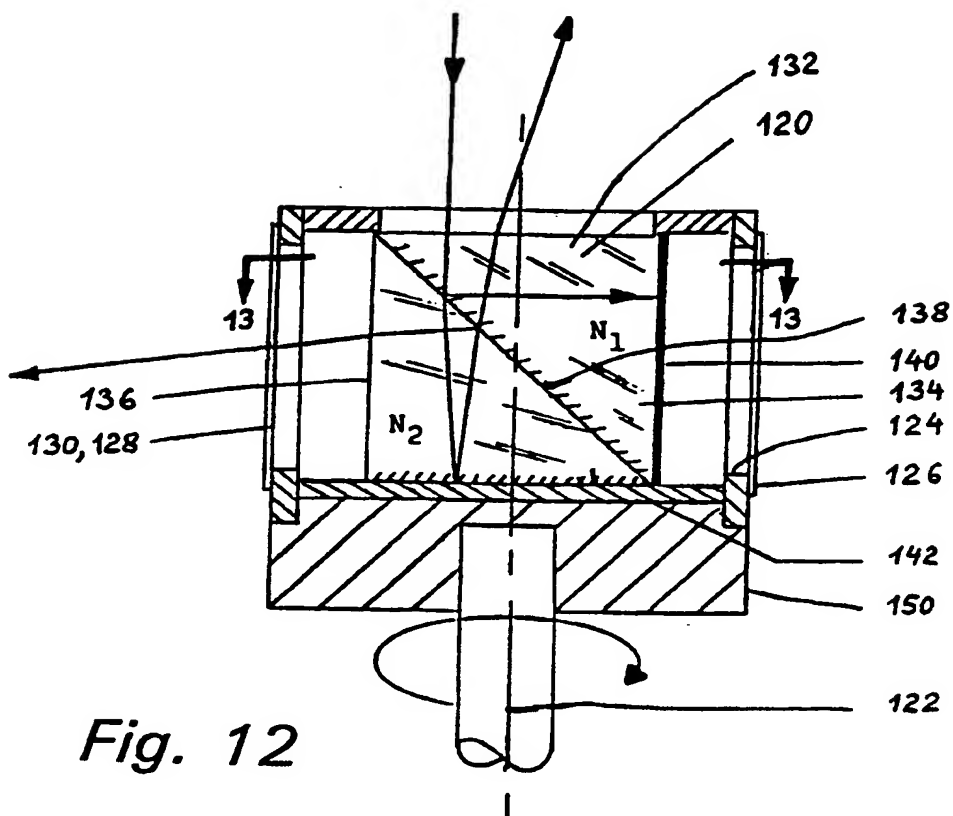


Fig. 12

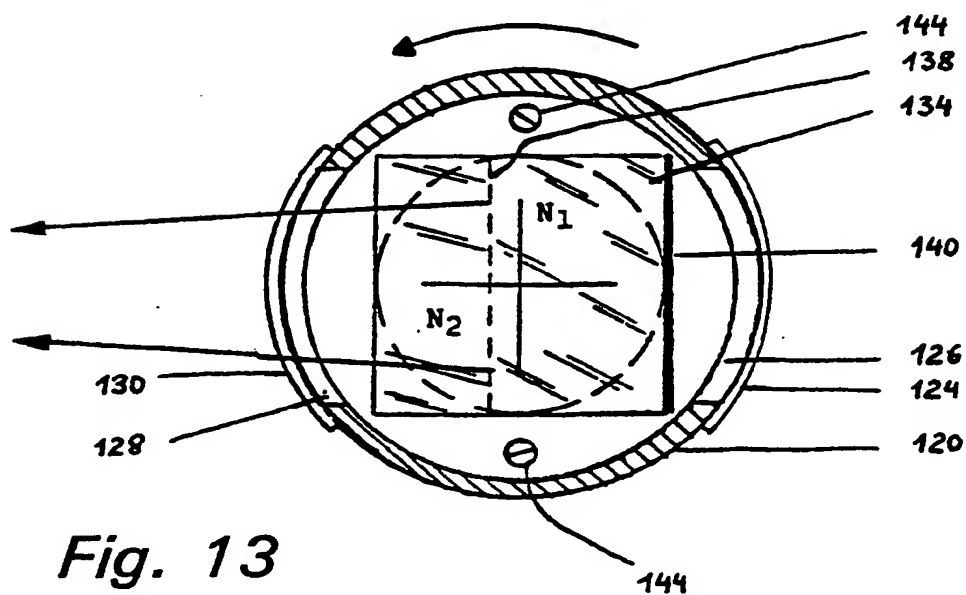
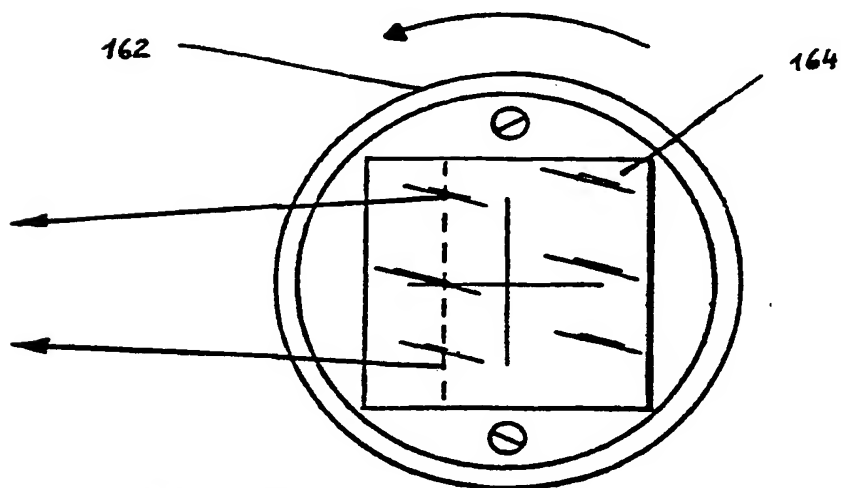
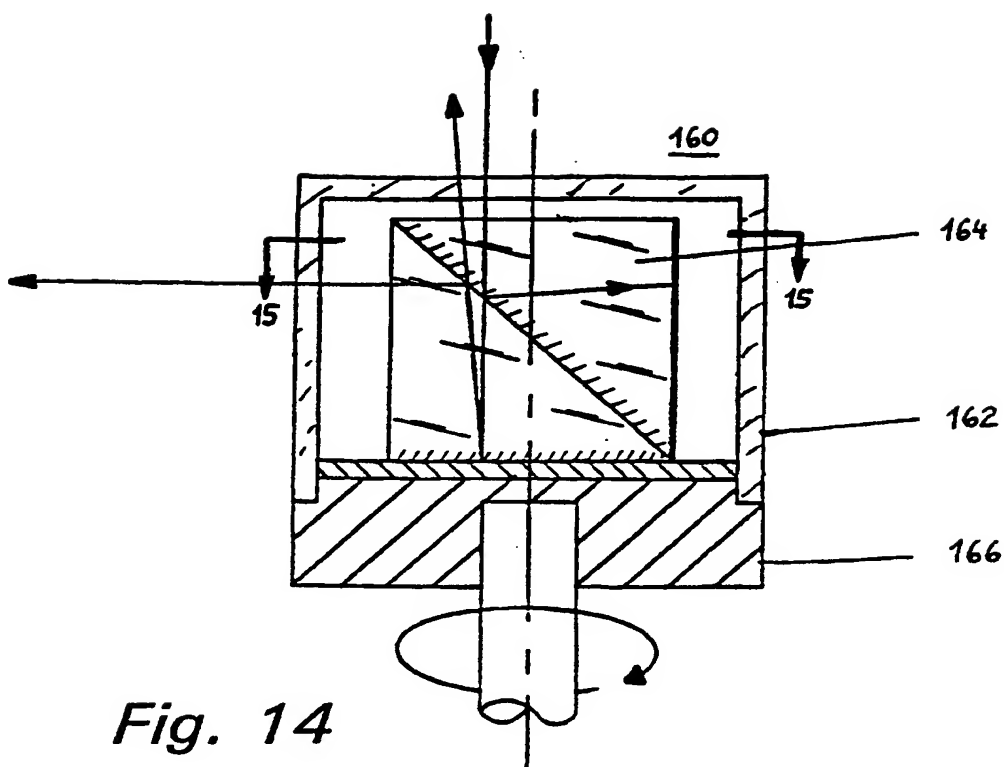


Fig. 13



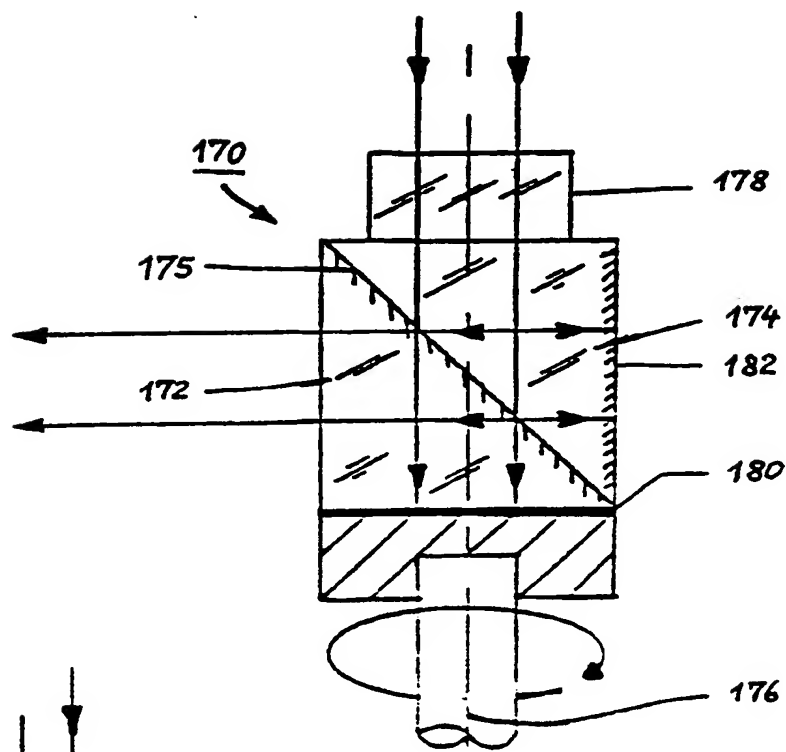


Fig. 17

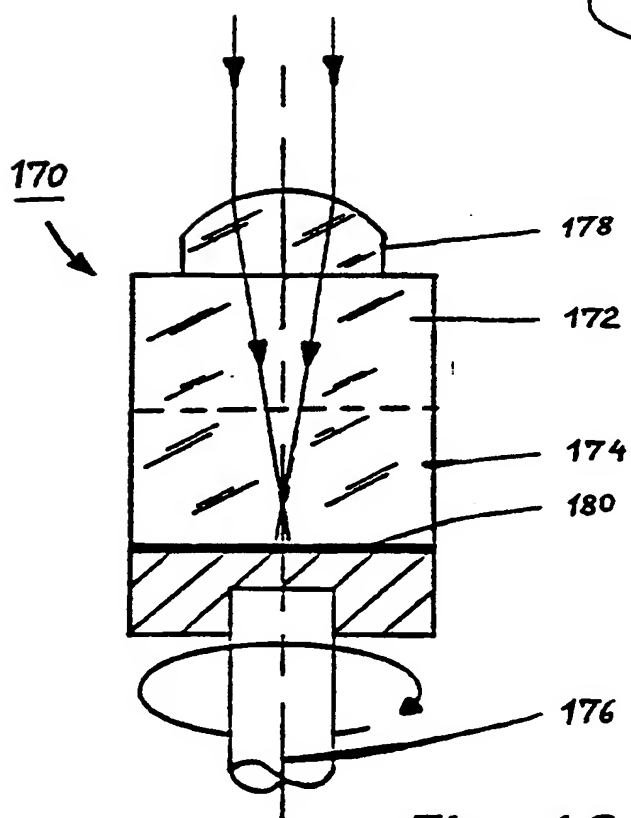


Fig. 16

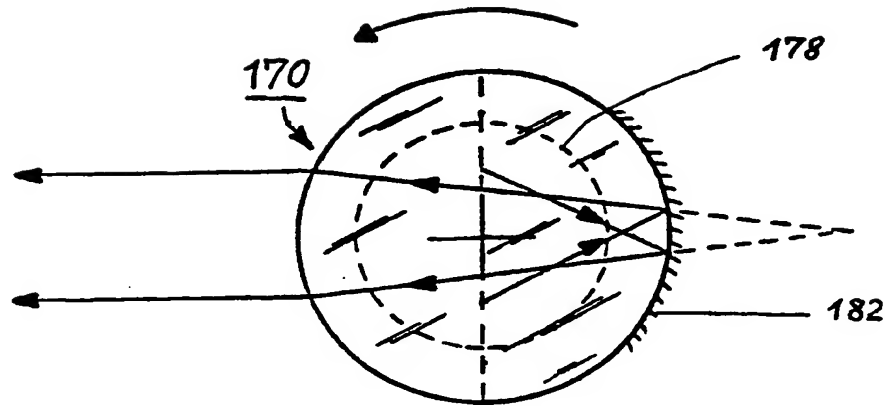


Fig. 18

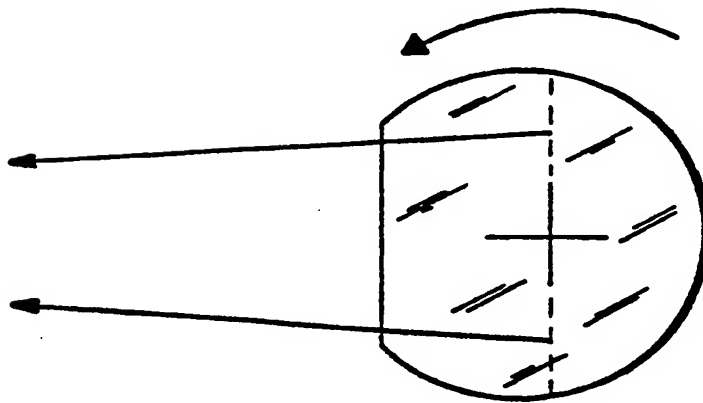


Fig. 19

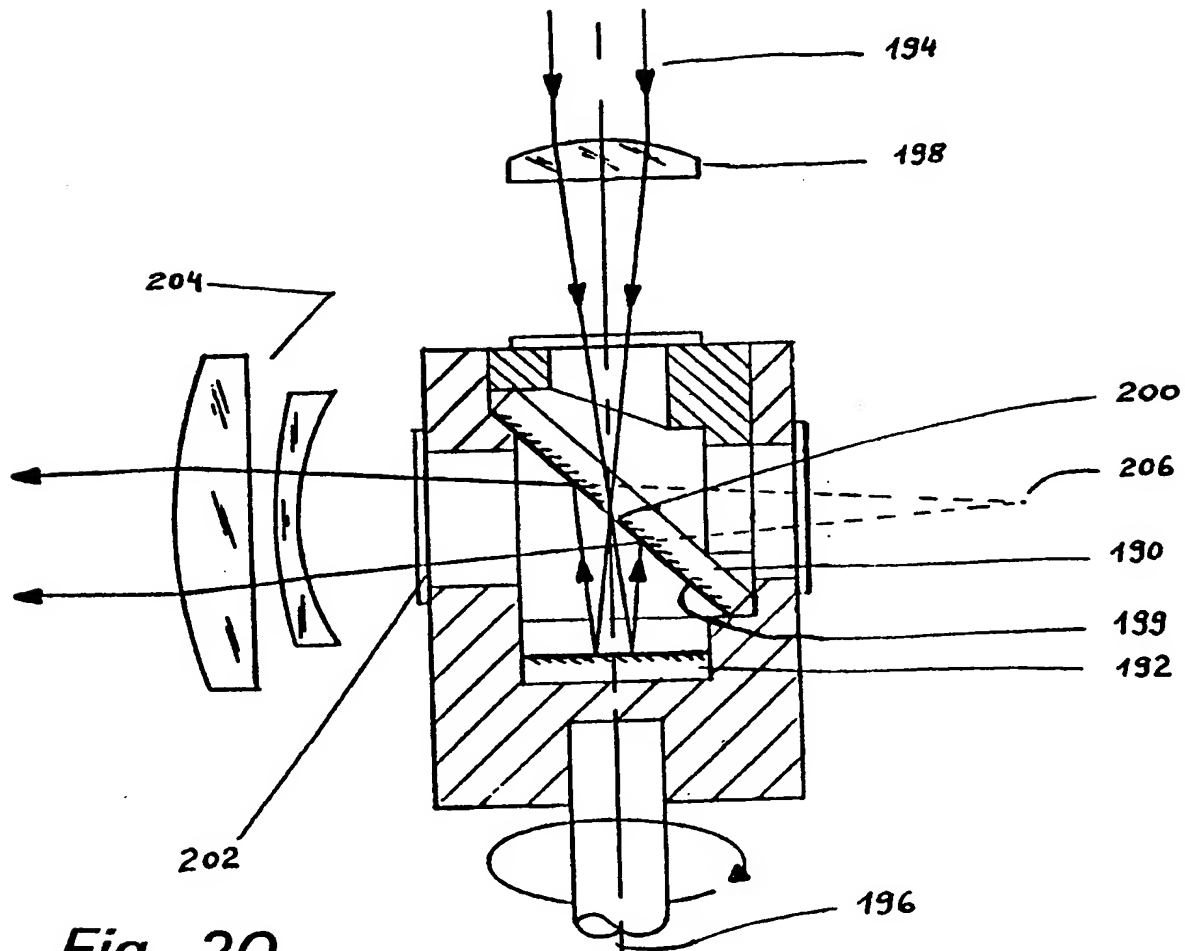


Fig. 20



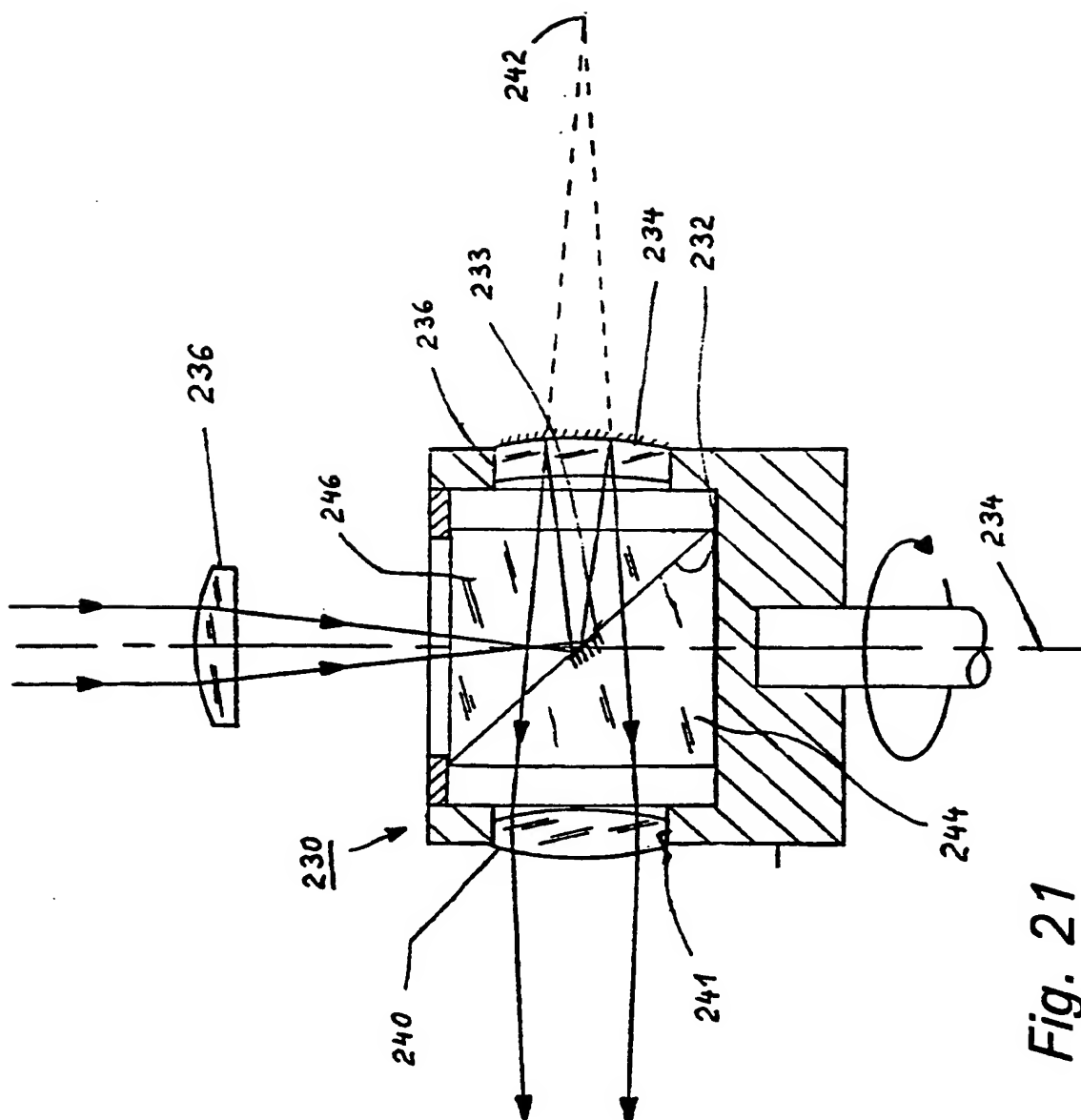


Fig. 21

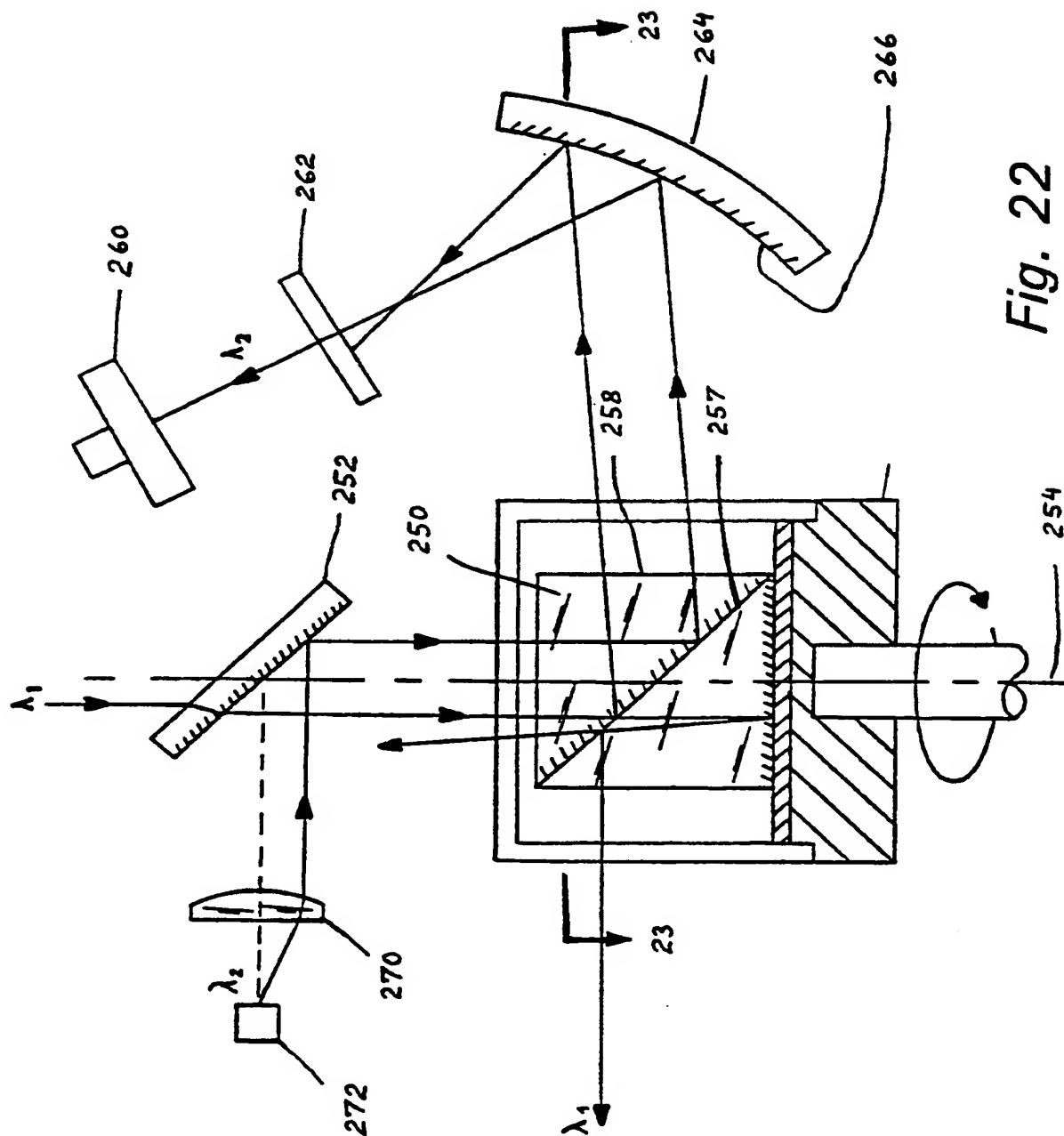


Fig. 22

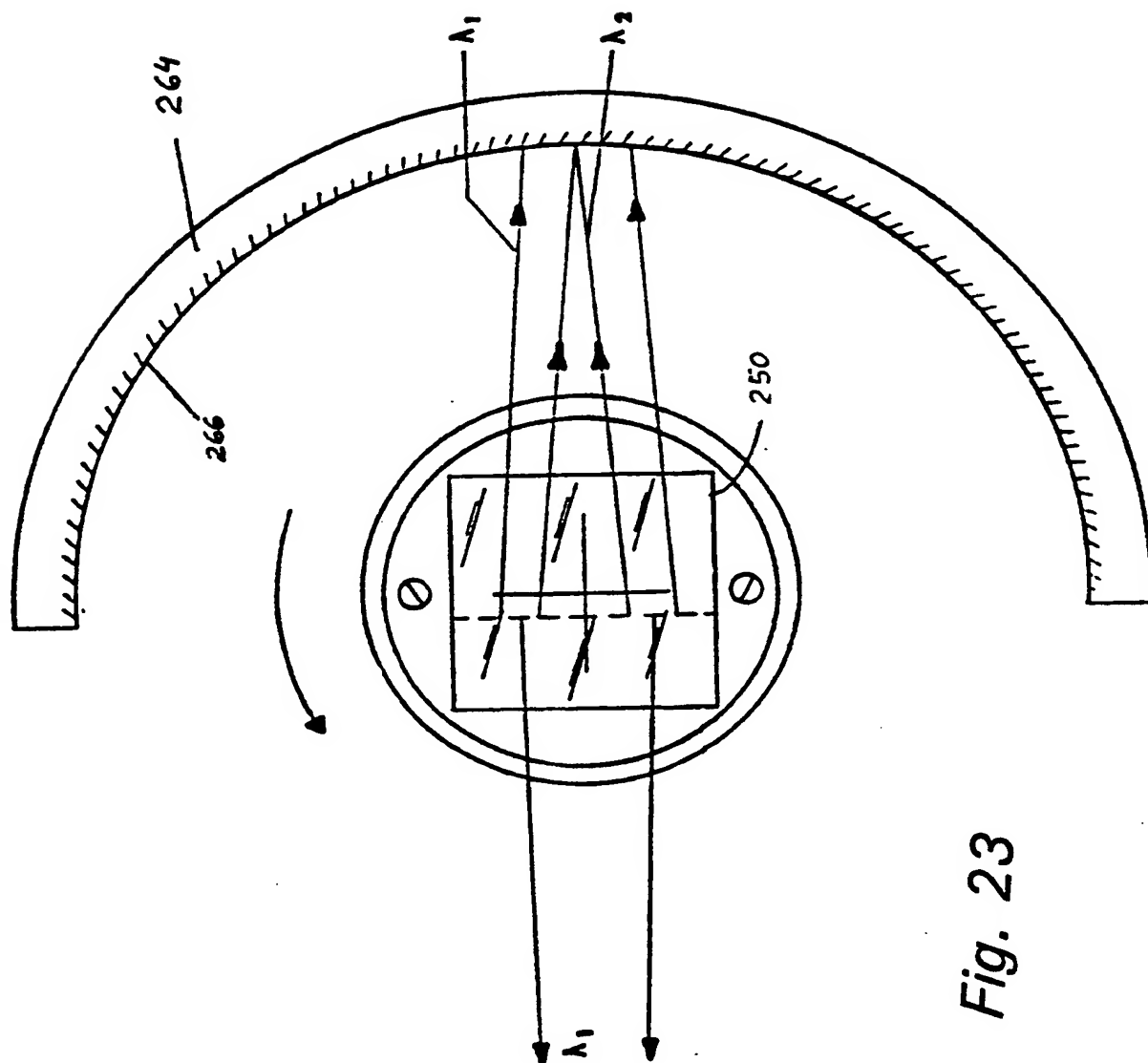


Fig. 23

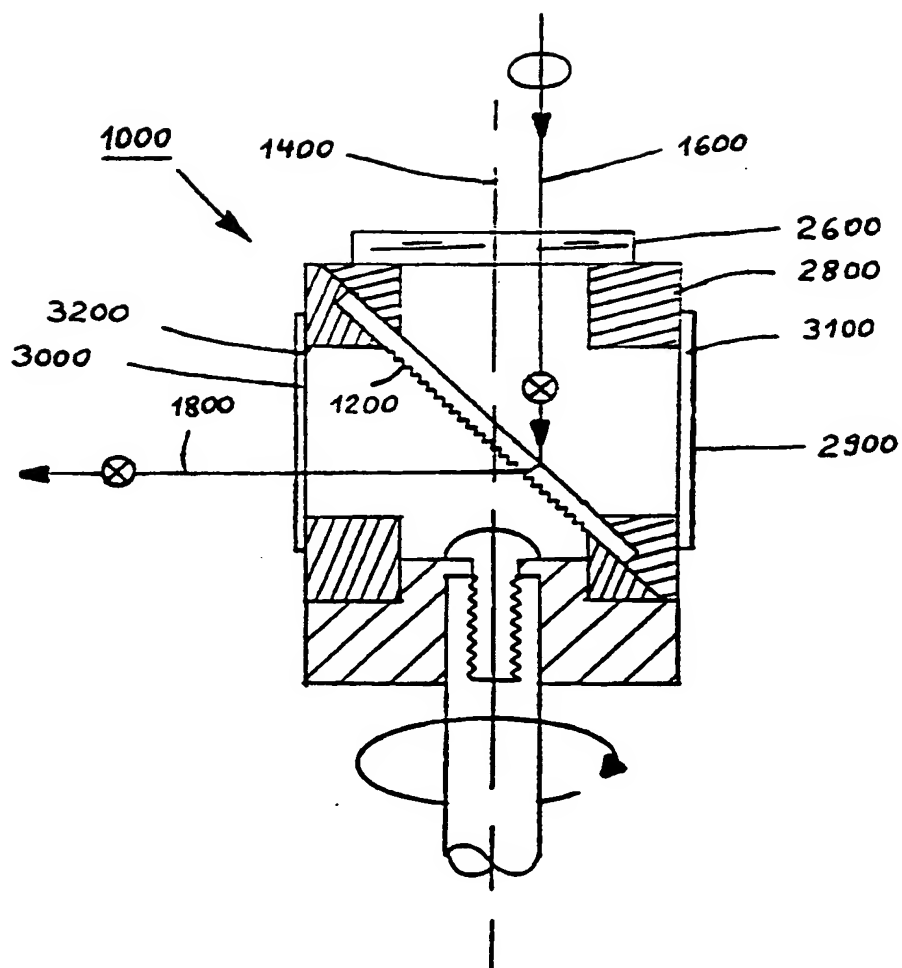


Fig. 24

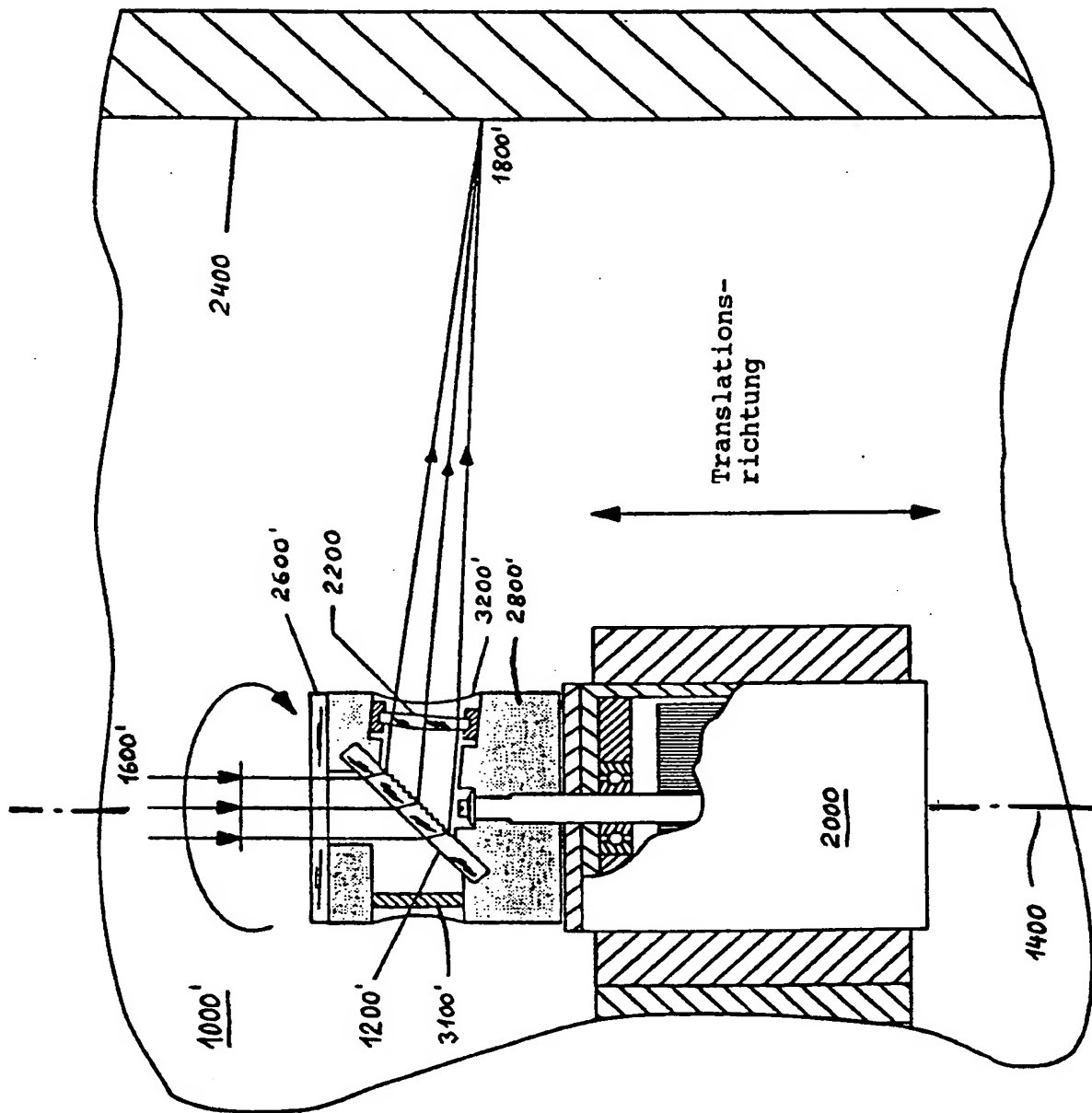
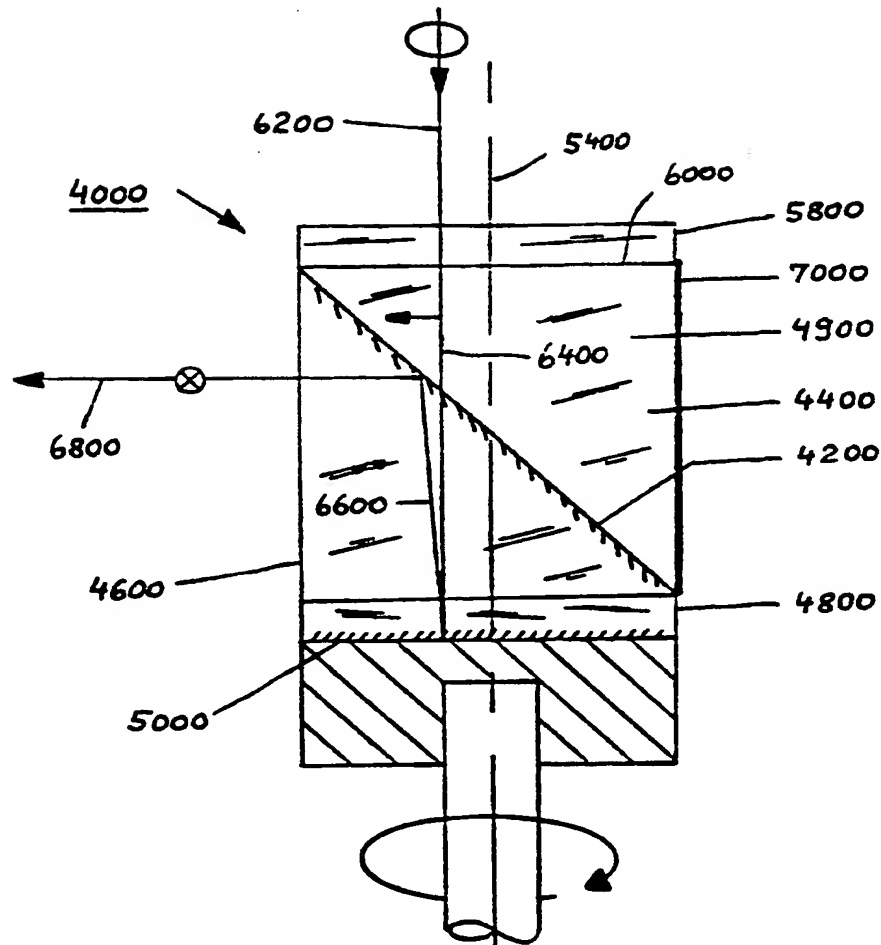


Fig. 25





**Fig. 26**

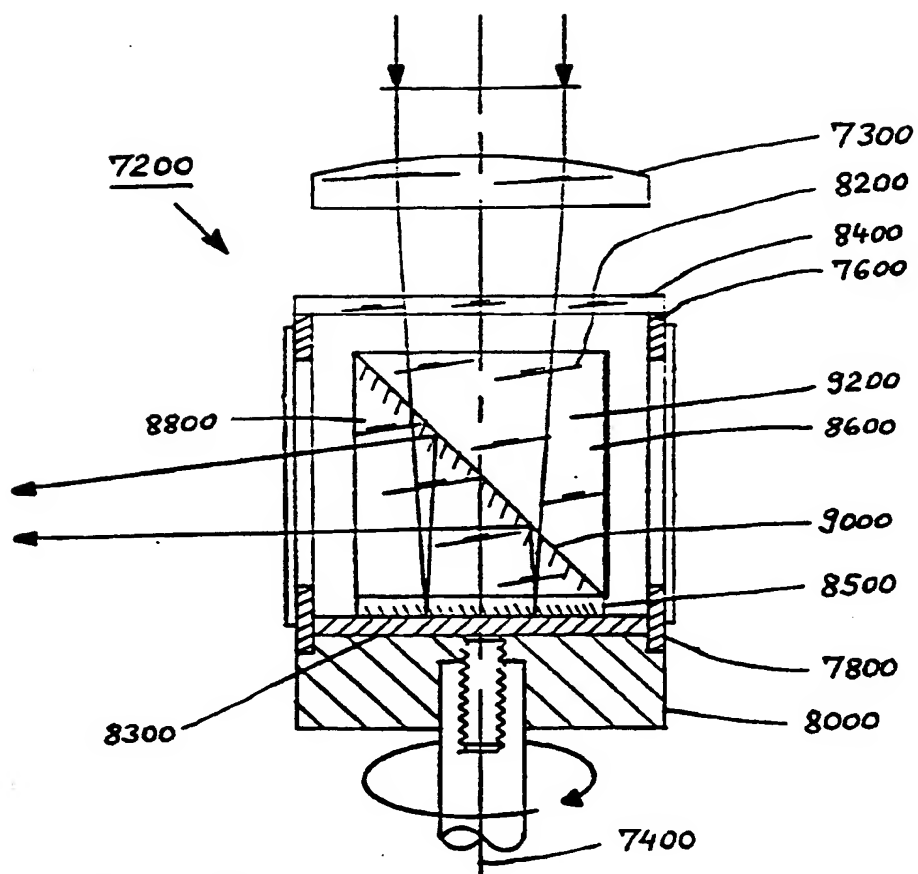
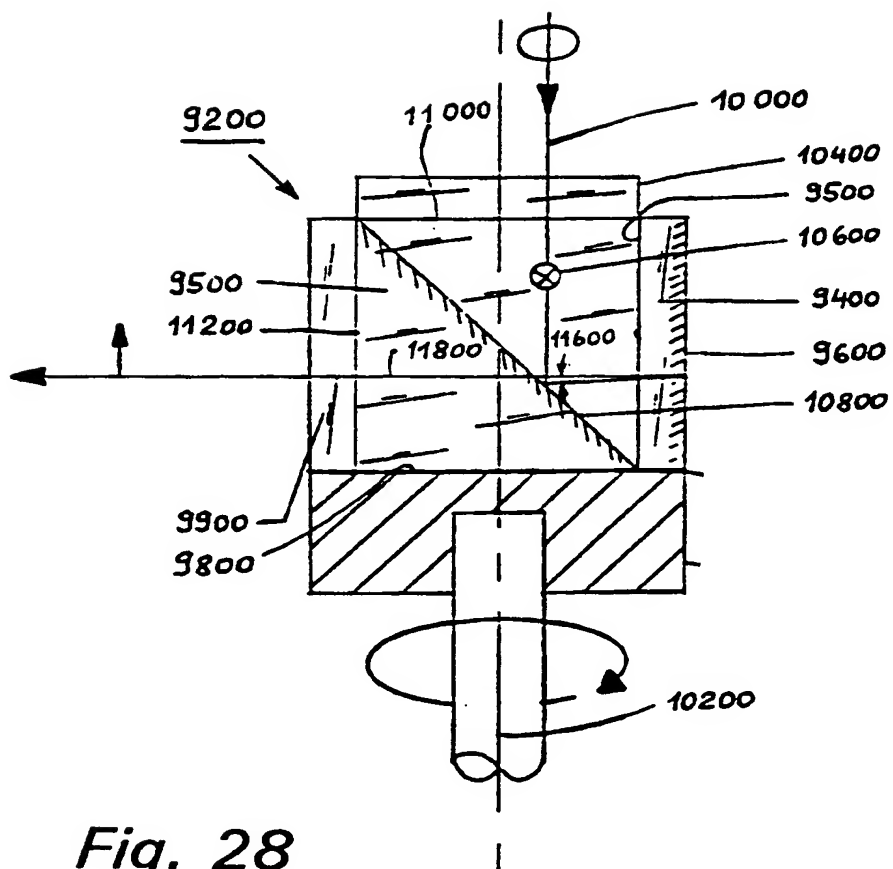


Fig. 27



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**